

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

SISTEM KONTROL DAN INSTALASI KELISTRIKAN PLTMH

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI HIDRO
Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan

KELOMPOK
KOMPETENSI

10



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2015

SISTEM KONTROL DAN INSTALASI KELISTRIKAN PLTMH

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI HIDRO

PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI TERBARUKAN

Penyusun:

Tim PPPPTK

BMTI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN

2015

KATA PENGANTAR

Undang–Undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen mengamanatkan adanya pembinaan dan pengembangan profesi guru secara berkelanjutan sebagai aktualisasi dari profesi pendidik. Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) dilaksanakan bagi semua guru, baik yang sudah bersertifikat maupun belum bersertifikat. Untuk melaksanakan PKB bagi guru, pemetaan kompetensi telah dilakukan melalui Uji Kompetensi Guru (UKG) bagi semua guru di Indonesia sehingga dapat diketahui kondisi objektif guru saat ini dan kebutuhan peningkatan kompetensinya.

Modul ini disusun sebagai materi utama dalam program peningkatan kompetensi guru mulai tahun 2016 yang diberi nama diklat PKB sesuai dengan mata pelajaran/paket keahlian yang diampu oleh guru dan kelompok kompetensi yang diindikasikan perlu untuk ditingkatkan. Untuk setiap mata pelajaran/paket keahlian telah dikembangkan sepuluh modul kelompok kompetensi yang mengacu pada kebijakan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan tentang pengelompokan kompetensi guru sesuai jabatan Standar Kompetensi Guru (SKG) dan indikator pencapaian kompetensi (IPK) yang ada di dalamnya. Sebelumnya, soal UKG juga telah dikembangkan dalam sepuluh kelompok kompetensi. Sehingga diklat PKB yang ditujukan bagi guru berdasarkan hasil UKG akan langsung dapat menjawab kebutuhan guru dalam peningkatan kompetensinya.

Sasaran program strategi pencapaian target RPJMN tahun 2015–2019 antara lain adalah meningkatnya kompetensi guru dilihat dari *Subject Knowledge* dan *Pedagogical Knowledge* yang diharapkan akan berdampak pada kualitas hasil belajar siswa. Oleh karena itu, materi yang ada di dalam modul ini meliputi kompetensi pedagogik dan kompetensi profesional. Dengan menyatukan modul kompetensi pedagogik dalam kompetensi profesional diharapkan dapat mendorong peserta diklat agar dapat langsung menerapkan kompetensi pedagogiknya dalam proses pembelajaran sesuai dengan substansi materi yang diampunya. Selain dalam bentuk *hard-copy*, modul ini dapat diperoleh juga dalam bentuk digital, sehingga guru dapat lebih mudah mengaksesnya kapan saja dan dimana saja meskipun tidak mengikuti diklat secara tatap muka.

Kepada semua pihak yang telah bekerja keras dalam penyusunan modul diklat PKB ini, kami sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Jakarta, Desember 2015
Direktur Jenderal,

Sumarna Surapranata, Ph.D
NIP: 195908011985031002

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	ix
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi.....	2
D. Ruang Lingkup.....	4
E. Saran Cara Penggunaan Modul.....	5
KEGIATAN PEMBELAJARAN.....	6
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1: PENELITIAN TINDAKAN KELAS	6
A. Tujuan	6
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	6
C. Uraian Materi.....	7
D. Aktivitas Pembelajaran	30
E. Rangkuman	31
F. Tes Formatif	32
G. Kunci Jawaban.....	35
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : SISTEM DASAR KONTROL	36
A. Tujuan	36
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	36
C. Uraian Materi.....	37
D. Aktivitas Pembelajaran	61
E. Rangkuman	63
F. Test Formatif.....	64
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : KONTROL PID.....	71

A. Tujuan	71
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	72
C. Uraian Materi	73
D. Aktivitas Pembelajaran	122
E. Rangkuman	124
F. Test Formatif	126
KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : KOMPONEN & RANGKAIAN KONTROL PLTMH.....	132
A. Tujuan	132
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	132
C. Uraian Materi	132
D. Aktivitas Pembelajaran	160
E. Rangkuman	164
F. Test Formatif	164
KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : DESAIN KONTROL BEBAN SECARA ELEKTRONIKA DAN DIGITAL	177
A. Tujuan	177
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	177
C. Uraian Materi	178
D. Aktivitas Pembelajaran	208
E. Rangkuman	209
F. Test Formatif	210
KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 : INSTALASI RANGKAIAN KONTROL PLTMH, DLC, IGC DAN DFC.....	219
A. Tujuan	219
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	219
C. Uraian Materi	220
D. Aktivitas Pembelajaran	240
E. Rangkuman	241
F. Test Formatif	242
PENUTUP	247

DAFTAR PUSTAKA	254
LAMPIRAN.....	256

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1. 1 ALUR PENELITIAN TINDAKAN KELAS DENGAN 4 TAHAP KEGIATAN	19
GAMBAR 2. 3 SISTEM KONTROL LOOP TERTUTUP	40
GAMBAR 2. 4 KONTROL MANUSIA BERUMPAN-BALIK DENGAN SEBUAH SISTEM MIKROHIDRO	40
GAMBAR 2. 5 KONTROL OTOMATIS BERUMPAN-BALIK PADA SUATU SISTEM MIKROHIDRO	42
GAMBAR 2. 6 SISTEM KONTROL LOOP TERBUKA	43
GAMBAR 2. 7 SISTEM PENGONTROLAN TEKANAN	45
GAMBAR 2. 8 SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN	45
GAMBAR 2. 9 KONTROL NUMERIK PADA SEBUAH MESIN	46
GAMBAR 2. 10 DIAGRAM BLOK SUATU SISTEM KONTROL	48
GAMBAR 2. 11 ELEMEN DIAGRAM BLOK	51
GAMBAR 2. 12 DIAGRAM BLOK SUATU DETEKTOR KESALAHAN	52
GAMBAR 2. 13 DIAGRAM BLOK SISTEM LOOP TERTUTUP	53
GAMBAR 2. 14 SISTEM LOOP TERTUTUP	54
GAMBAR 2. 15 SISTEM LOOP TERTUTUP YANG DIKENAI GANGGUAN DARI LUAR	55
GAMBAR 2. 16 (A)RANGKAIAN RC; (B) PENYAJIAN DALAM DIAGRAM BLOK PERSAMAAN I(S); (C) PENYAJIAN DALAM DIAGRAM BLOK PERSAMAAN EO (D) DIAGRAM BLOK RANGKAIAN RC....	57
GAMBAR 2. 17 (A) SISTEM MULTI LOOP; (B)-(E) PENYEDERHANAAN BERTURUTAN DARI DIAGRAM BLOK YANG DITUNJUKKAN PADA (A).	58
GAMBAR 2. 18 KONTROL PERMUKAAN AIR	64
 GAMBAR 3. 1 PANEL KONTROL PLTMH (ATAS); DIAGRAM BLOK KONTROLLER PID IDEAL (BAWAH).	73
GAMBAR 3. 2 EKSPERIMEN <i>BUMP TEST</i> PADA MODE KONTROL MANUAL (LOOP TERBUKA)	76
GAMBAR 3. 3 RESPON TANGGA PADA EKSPERIMEN BUMP TEST UNTUK MODE(FOPDT).....	76
GAMBAR 3. 4 RELASI INPUT-OUTPUT UNTUK MODEL IPDT (<i>PROSES REVERSE</i>).....	79
GAMBAR 3. 5 RELASI INPUT-OUTPUT UNTUK MODEL IPDT (<i>PROSES DIRECT</i>).....	79
GAMBAR 3. 6 PENGARUH PEMBESARAN KP DAN TI TERHADAP RESPON OUTPUT PROSES JENIS- JENIS STRUKTUR KONTROL PID (DASAR) DAN METODE <i>TUNINGNYA</i>	80
GAMBAR 3. 7 RESPON PROSES SEBAGAI AKIBAT PERUBAHAN <i>SETPOINT</i>	84
GAMBAR 3. 8 DIAGRAM BLOK KONTROL PROPORSIONAL.....	85
GAMBAR 3. 9 HUBUNGAN INPUT-OUTPUT KONTROL PROPORSIONAL.....	85
GAMBAR 3. 10 PENGARUH BESAR GAIN PROPORSIONAL TERHADAP DINAMIKA OUTPUT PROSES FOPDT.	86
GAMBAR 3. 11 DIAGRAM BLOK KONTROL PROPORSIONAL DENGAN BIAS	86
GAMBAR 3. 12 PENGARUH PERUBAHAN <i>SETPOINT</i> DAN BEBAN (GANGGUAN) PADA SISTEM KONTROL PROPORSIONAL UNTUK PROSES IPDT.....	88
GAMBAR 3. 13 DIAGRAM BLOK KONTROL PROPORSIONAL INTEGRAL.....	90
GAMBAR 3. 14 DIAGRAM BLOK ALTERNATIVE KONTROL PI	90
GAMBAR 3. 15 AKSI KONTROL PI	91

GAMBAR 3. 16 PENGARUH PEMBESARAN (PENGECELAN) KP DAN TI TERHADAP RESPON OUTPUT PROSES.....	92
GAMBAR 3. 17 AKSI KONTROL PROPORSIONAL DERIVATIF	95
GAMBAR 3. 18 DIAGRAM BLOK KONTROL PID IDEAL BENTUK DEPENDENT	96
GAMBAR 3. 19 DIAGRAM BLOK KONTROL PID IDEAL BENTUK INDEPENDENT	96
GAMBAR 3. 20 AKSI KONTROL PID	97
GAMBAR 3. 21 DIAGRAM BLOK ALTERNATIF KONTROL PID	97
GAMBAR 3. 22 STRUKTUR PI-D	100
GAMBAR 3. 23 DIAGRAM BLOK KONTROLER I-PD	102
GAMBAR 3. 24 BLOK PID SERIAL	104
GAMBAR 3. 25 DIAGRAM BLOK KONTROL PID DENGAN <i>ANTI-WINDUP</i>	105
GAMBAR 3. 26 DIAGRAM BLOK MODEL SATURASI.....	106
GAMBAR 3. 27 SINYAL KONTROL BIAS PADA MODUL PID	107
GAMBAR 3. 28 ILUSTRASI METODE <i>AUTOTUNING</i> RESPON TRANSIEN	109
GAMBAR 3. 29 HUBUNGAN SINYAL KONTROL (CO) US UARIABEL PROSES (PV) SETELAH FASILITAS <i>AUTOTUNING</i> DIJALANKAN.	110
GAMBAR 3. 30 DIAGRAM BLOK SISTEM KONTROL <i>GAIN SCHEDULING</i>	112
GAMBAR 3. 31 ILUSTRASI HUBUNGAN NILAI VARIABEL PENJADWAL DENGAN PARAMETER PID..	114
GAMBAR 3. 32 PENGGUNAAN HISTERIS PADA VARIABLE PENJADWAL.....	114
GAMBAR 3. 33 DIAGRAM BLOK KONTROLER	116
GAMBAR 3. 34 RESPON REGULASI PID TERHADAP INPUT STEP/FUNGSI TANGGA.	117
GAMBAR 3. 35 SISTEM LOOP TERTUTUP DENGAN UMPAN BALIK	117
GAMBAR 3. 36 SKEMA KONTROL DISKRIT PID	118
GAMBAR 3. 37 RESPON TANGGA UNTUK KONTROL P	118
GAMBAR 3. 38 RESPON I DAN PI TERHADAP FUNGSI STEP.....	119
GAMBAR 3. 39 GRAFIK KONTROLER PD	120
GAMBAR 3. 40 GRAFIK KONTROLER PID	120
GAMBAR 3. 41 DIAGRAM BLOK KODE PROGRAM DISKRIT PID.....	122
GAMBAR 3. 42 SISTEM REGULASI TEKANAN UAP	123
GAMBAR 4. 1 RANGKAIAN SENSOR TEGANGAN	133
GAMBAR 4. 2 KONVERTER F TO V	135
GAMBAR 4. 3 SENSOR TEGANGAN UNTUK Mencari <i>ERROR</i>	136
GAMBAR 4. 4 RANGKAIAN <i>ZERO CROSS DETECTOR</i>	137
GAMBAR 4. 5 RANGKAIAN PROPORSIONAL PEMBALIK PHASA.....	138
GAMBAR 4. 6 RANGKAIAN PROPORSIONAL DENGAN OP-AMP	139
GAMBAR 4. 7 RANGKAIAN PENGURANGAN.....	140
GAMBAR 4. 8 DIFFERENSIATOR OP-AMP	141
GAMBAR 4. 9 INTEGRATOR AMPLIFIER.....	142
GAMBAR 4. 10 RANGKAIAN INTEGRATOR PRAKTIS	143
GAMBAR 4. 11 RANGKAIAN SKEMATIK (KIRI) DAN BENTUK FISIK (KANAN)	145
GAMBAR 4. 12 WAKTU MINIMAL UNTUK LED MATI MENUJU BATAS KE POSISI PENYEBRANGAN NOL.	145

GAMBAR 4. 13 KOMPONEN OPTO COUPLER	146
GAMBAR 4. 14 RANGKAIAN INTEGRATOR PRAKTIS	147
GAMBAR 4. 15 GRAFIK PEMBENTUKAN PWM	148
GAMBAR 4. 16 PENA-PENA ATMEGA 8535	150
GAMBAR 4. 17 RANGKAIAN SIMULASI DENGAN SOFTWARE PROTEUS.....	152
GAMBAR 4. 18 GAMBAR MODUL SCR.....	153
GAMBAR 4. 19 STRUKTUR SCR	153
GAMBAR 4. 20 KARAKTERISTIK KURVA I-V SCR.....	154
GAMBAR 4. 21 PEMBERIAN TEGANGAN PADA <i>GATE</i> SCR.....	155
GAMBAR 4. 22 SIMBOL TRIAC	156
GAMBAR 4. 23 RANGKAIAN APLIKASI TRIAC (<i>DIMMER</i>)	156
GAMBAR 4. 24 BENTUK GELOMBANG PADA BEBAN	157
GAMBAR 4. 25 BEBAN <i>BALLAST</i> BERUPA ELEMEN PEMANAS UDARA	159
GAMBAR 4. 26 KONTAKTOR MAGNET	160
GAMBAR 4. 27RANGKAIAN SCR	161
GAMBAR 3. 28 RANGKAIAN PENGUKURAN BENTUK GELOMBANG.....	162
GAMBAR 4. 29 RANGKAIAN SCR DENGAN TEGANGAN DC	162
GAMBAR 4. 30 RANGKAIAN TRIAC <i>DIMMER</i>	162
GAMBAR 4. 31 BENTUK GELOMBANG <i>TRIGGER</i>	163
GAMBAR 4. 32 KONVERTER FREKUENSI KE TEGANGAN	170
GAMBAR 4. 33 RANGKAIAN PROPORSIONAL.....	172
GAMBAR 4. 34 RANGKAIAN INTEGRATOR	174
GAMBAR 4. 35 RANGKAIAN PWM.....	175
GAMBAR 5. 1 DIAGRAM BLOK RANGKAIAN SISTEM KONTROL PLTMH	178
GAMBAR 5. 2 BENTUK GELOMBANG REGULASI BEBAN BINER.....	180
GAMBAR 5. 3 HUBUNGAN DAYA <i>BALLAST</i> TERHADAP JUMLAH <i>BALLAST</i>	181
GAMBAR 5. 4 RANGKAIAN DLC BEBAN BINER.....	182
GAMBAR 5. 5 RANGKAIAN DLC BEBAN BINER.....	183
GAMBAR 5. 6 HARMONIK PADA REGULASI SUDUT PHASA.....	183
GAMBAR 5. 7 RANGKAIAN ELC DENGAN REGULASI MODE PWM.....	185
GAMBAR 5. 8 RANGKAIAN SENSOR TEGANGAN	185
GAMBAR 5. 9 DIAGRAM ELC ANALOG DENGAN PENGGERAK SCR / TRIAC.....	186
GAMBAR 5. 10 RANGKAIAN ELC DENGAN SINGKRONISASI PWM.....	187
GAMBAR 5. 11 BENTUK GELOMBANG DARI MASING-MASING BLOK	188
GAMBAR 5. 12 DIAGRAM BLOK RANCANGAN DLC BERBASIS MIKROKONTROLER	190
GAMBAR 5. 13 PENGUKURAN JUMLAH GELOMBANG PERDETIK	191
GAMBAR 5. 14 MENGHITUNG PERIODA DARI SATU GELOMBANG	192
GAMBAR 5. 15 GRAFIK ON DELAY PADA PENYALAAN SCR.....	196
GAMBAR 5. 16 DIAGRAM BLOK RANGKAIAN DLC	201
GAMBAR 5. 17 SKEMATIK RANGKAIAN DLC.....	202
GAMBAR 5. 18 TATA LETAK KOMPONEN	203
GAMBAR 5. 19 LAYOUT PCB RANGKAIAN DLC	204

GAMBAR 5. 20 GAMBAR DLC	204
GAMBAR 5. 21 KOMPILE TELAH BERHASIL.....	214
GAMBAR 5. 22 RANGKAIAN DOWNLOADER USBASP.....	214
GAMBAR 5. 23 PENGATURAN FUSE PADA FREKUENSI 16MHZ.....	215
GAMBAR 5. 24 PENGATURAN PADA PROGRAM DOWNLOADER	215
GAMBAR 5. 25 POSISI TERMINAL SAMBUNGAN RS232 PADA BOARD MIKROKONTROLER MENGUNAKAN HEADER DAN DISEDIAKAN PULA TEGANGAN 5V.....	216
GAMBAR 5. 26 KONVERTER TTL KE RS232 PADA SERIAL KOMPUTER DB9 FEMALE.....	216
GAMBAR 6. 1 DIAGRAM PEMBANGKIT PLTMH	220
GAMBAR 6. 2 MAINBOARD <i>DIGITAL LOAD CONTROLLER</i> (ELC/IGC)	222
GAMBAR 6. 3 DIAGRAM DASAR PENGKABELAN SISTEM DIGITAL LOAD CONTROL DENGAN 2 STEP <i>BALLAST LOAD</i>	222
GAMBAR 6. 4 DIAGRAM PENGKABELAN DLC DENGAN TOMBOL-TOMBOL DAN PERALATAN INDIKATOR PADA PANEL KONTROL	223
GAMBAR 6. 5 DIAGRAM PENGKABELAN PANEL KONTROL DENGAN <i>BALLAST LOAD</i> DAN GENERATOR	224
GAMBAR 6. 6 LAYOUT PENEMPATAN KOMPONEN PANEL	225
GAMBAR 6. 7 BENTUK GELOMBANG TEGANGAN <i>LINE</i>	225
GAMBAR 6. 8 GRAFIK HUBUNGAN ANTARA BEBAN UTAMA, BEBAN <i>BALLAST</i> DENGAN FREKUENSI	226
GAMBAR 6. 9 PENGATURAN PARAMETER PI	228
GAMBAR 6. 10 DROOP APLICATION FOR PARALLEL OPERATION RENERCONSYS	228
GAMBAR 6. 11 DIAGRAM APLIKASI <i>STAND ALONE</i>	230
GAMBAR 6. 12 RANGKAIAN GENERATOR PARALEL	231
GAMBAR 6. 13 PARALLEL SYNCHRONOUS GENERATOR & ASYNCHRONOUS GENERATOR (IMAG)	231
GAMBAR 6. 14 HUBUNGAN ON-GRID DENGAN PLN	232
GAMBAR 6. 15 APLIKASI IMAG	232
GAMBAR 6. 16 MASTER KONTROL	234
GAMBAR 6. 17 PANEL MASTER KONTROL.....	234
GAMBAR 6. 18 ALAT SINKRONISASI	239
GAMBAR 6. 19 DIAGRAM SINKRONISASI	239

DAFTAR TABEL

TABEL 2. 1 ATURAN ALJABAR DIAGRAM BLOK.....	59
TABEL 3. 1 PENGARUH TUNING SALAH SATU PARAMETER PID TERHADAP UNJUK KERJA PROSES..	83
TABEL 3. 2 METODA TUNING KONTROL PROPORSIONAL UNTUK MODEL PROSES FOPDT.....	88
TABEL 3. 3 METODA TUNING KONTROL PROPORSIONAL UNTUK MODEL PROSES IPDT	89
TABEL 3. 4 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PI UNTUK PROSES FOPDT.....	92
TABEL 3. 5 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PI UNTUK PROSES IPDT	94
TABEL 3. 6 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PID IDEAL UNTUK PROSES.....	97
TABEL 3. 7 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PID IDEAL UNTUK PROSES IPDT	98
TABEL 3. 8 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PI-D UNTUK PROSES FOPDT	101
TABEL 3. 9 SALAH SATU METODE TUNING KONTROL PI-D UNTUK PROSES IPDT	101
TABEL 3. 10 SALAH SATU METODE TUNING KONTROL PID TIPE C UNTUK PROSES FOPDT	102
TABEL 3. 11 SALAH SATU METODE TUNING KONTROL PID TIPE C UNTUK PROSES IPDT.....	103
TABEL 3. 12 BEBERAPA METODE TUNING KONTROL PID SERIAL UNTUK PROSES FOPDT	104
TABEL 3. 13 HIMPUNAN PARAMETER PID UNTUK BERBAGAI KONDISI PROSES	112
TABEL 3. 14 TIGA HIMPUNAN PARAMETER PID UNTUK TIGA KONDISI PROSES	113
TABEL 5. 1 RESISTOR BALLAST	179
TABEL 5. 2 TABEL PEMILIHAN BALLAST PADA DAYA YANG DIINGINKAN	181
TABEL 5. 3 KODE PROGRAM PENGUKURAN FREKUENSI	192
TABEL 5. 4 KODE PROGRAM PENYALAN SCR MODE SINKRONISASI PENYULUTAN PHASE	196
TABEL 5. 5 KODE PROGRAM KONTROL PID DISKRIT.....	200
TABEL 5. 6 DAFTAR KOMPONEN DLC	205

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan PKB adalah kegiatan keprofesian yang wajib dilakukan secara terus menerus oleh guru dan tenaga kependidikan agar kompetensinya terjaga dan terus ditingkatkan. Salah satu kegiatan PKB sesuai yang diamanatkan dalam Peraturan Menteri Negara dan Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Nomor 16 Tahun 2009 tentang Jabatan Fungsional Guru dan Angka Kreditnya adalah kegiatan Pengembangan Diri. Kegiatan Pengembangan diri meliputi kegiatan diklat dan kegiatan kolektif guru.

Agar kegiatan pengembangan diri optimal diperlukan modul-modul yang digunakan sebagai salah satu sumber belajar pada kegiatan diklat fungsional dan kegiatan kolektif guru dan tenaga kependidikan lainnya. Modul diklat adalah substansi materi pelatihan yang dikemas dalam suatu unit program pembelajaran yang terencana guna membantu pencapaian peningkatan kompetensi yang didesain dalam bentuk *printed materials* (bahan tercetak).

Penulisan modul didasarkan pada hasil peta modul dari masing-masing mapel yang terpetakan menjadi 4 (empat) jenjang. Keempat jenjang diklat dimaksud adalah (1) Diklat Jenjang Dasar; (2) Diklat Jenjang Lanjut; (3) Diklat Jenjang Menengah, dan (4) Diklat Jenjang Tinggi. Diklat jenjang dasar terdiri atas 5 (lima) grade, yaitu grade 1 s.d 5, diklat jenjang lanjut terdiri atas 2 (dua) grade, yaitu grade 6 dan 7, diklat menengah terdiri atas 2 (dua) grade, yaitu grade 8 dan 9, dan diklat jenjang tinggi adalah grade 10.

Modul diklat disusun untuk membantu guru dan tenaga kependidikan dalam meningkatkan kompetensinya, terutama kompetensi profesional dan kompetensi pedagogik. Modul tersebut digunakan sebagai sumber belajar (*learning resources*) dalam kegiatan pembelajaran tatap muka.

B. Tujuan

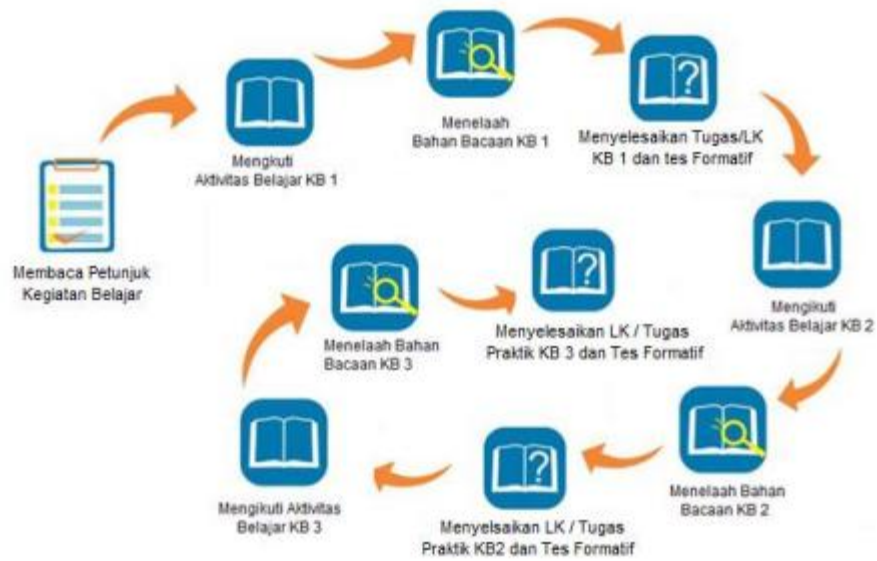
Penggunaan modul dalam diklat PKB dimaksudkan untuk mengatasi keterbatasan waktu, dan ruang peserta diklat, memudahkan peserta diklat belajar mandiri sesuai kemampuan, dan memungkinkan peserta diklat untuk mengukur atau mengevaluasi sendiri hasil belajarnya.

Target kompetensi dan hasil pembelajaran yang diharapkan dapat dicapai melalui modul ini meliputi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional pada grade 3 (tiga). Setelah mempelajari materi pembelajaran pedagogi yaitu prosedur pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran pengelolaan utilitas, dan materi pembelajaran profesional tentang *system control* dan *switch gear*, guru kejuruan paket keahlian PLTMH diharapkan mampu:

1. Menentukan pengalaman belajar yang sesuai untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diampu.
2. Memilih materi pembelajaran yang diampu yang terkait dengan pengalaman belajar dan tujuan pembelajaran.
3. Melakukan perancangan, perawatan dan perbaikan rangkaian kontrol yang digunakan pada sistem PLTMH.

C. Peta Kompetensi

Melalui materi pembelajaran ini, Saudara akan melakukan tahapan kegiatan pembelajaran kompetensi pedagogi dan profesional pada grade 10 (sepuluh) secara *one shoot training* dengan moda langsung (tatap muka).



Alur Pencapaian Kompetensi *Grade* 10

Gambar diatas memperlihatkan Diagram Alur Pencapaian Kompetensi Grade 10. Pada pembelajaran kompetensi pedagogi, saudara akan mempelajari prosedur pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran rangkaian elektronika analog melalui beberapa aktivitas belajar antara lain mempelajari bahan bacaan, diskusi, studi kasus, mengerjakan tugas dan menyelesaikan test formatif. Alokasi waktu yang disediakan untuk menyelesaikan materi pembelajaran ini adalah 45 JP. Pada pembelajaran kompetensi profesional, saudara akan mengidentifikasi komponen elektronika, menganalisis dan mengevaluasi rangkaian elektronika yang terkait dengan mata pelajaran system control dan kelistrikan melalui beberapa kegiatan antara lain diskusi, menyelesaikan Lembar Kerja (Uji Pemahaman materi), dan melakukan Tugas Praktik. Alokasi waktu yang disediakan untuk menyelesaikan materi pembelajaran ini adalah 105 JP.

D. Ruang Lingkup

Agar proses pembelajaran dapat berlangsung secara efektif, maka ruang lingkup penyajian materi pembelajaran dalam modul ini diorganisasikan menjadi 6 (enam) Kegiatan Belajar (KB), sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1 (satu) memuat sajian materi pedagogi. Bahan kajian ini merupakan implementasi pengembangan kurikulum pada mata pelajaran yang diampu guru kejuruan.

Kegiatan Belajar 2 (dua) memuat sajian materi sistem dasar kontrol.

Kegiatan Belajar 3 (tiga) memuat sajian materi control PID.

Kegiatan Belajar 4 (empat) memuat sajian materi komponen dan rangkaian kontrol PLTMH

Kegiatan Belajar 5 (lima) memuat sajian materi rangkaian kontrol beban secara digital dan elektronika.

Kegiatan Belajar 6 (enam) memuat sajian materi instalasi rangkaian Digital Load Control (DLC).

E. Saran Cara Penggunaan Modul

1. Materi pembelajaran utama teknik kontrol dan *switch gear* PLTMH ini berada pada tingkatan *grade* 10 (sepuluh), terdiri dari materi pedagogi dan materi profesional. Materi pedagogi berisi bahan pembelajaran tentang implementasi pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran yang diampu guru dan materi profesional berisi bahan pembelajaran tentang prinsip dan prosedur pemeliharaan kompresor dan pompa. Materi pembelajaran dalam setiap Kegiatan Belajar, terbagi atas 3 (tiga) bagian, yaitu: Pengantar aktivitas pembelajaran, Uraian materi yang terbagi dalam beberapa Bahan Bacaan, Rincian aktivitas pembelajaran, Lembar Kerja/ Tugas Praktek, Rangkuman dan Tes Formatif.
2. Materi pembelajaran ini terkait dengan materi pembelajaran pada grade sebelumnya.
3. Waktu yang digunakan untuk mempelajari materi pembelajaran ini diperkirakan 150 JP, dengan rincian untuk materi pedagogi 45 JP dan untuk materi profesional 105 JP, melalui diklat PKB moda tatap muka.
4. Untuk memulai kegiatan pembelajaran, Saudara harus mulai dengan membaca Pengantar Aktivitas Belajar, menyiapkan dokumen-dokumen yang diperlukan/ diminta, mengikuti tahap demi tahap kegiatan pembelajaran secara sistematis dan mengerjakan perintah-perintah kegiatan pembelajaran pada Lembar Kerja (LK) baik pada ranah pengetahuan maupun keterampilan. Untuk melengkapi pengetahuan, Saudara dapat membaca bahan bacaan yang telah disediakan dan sumber-sumber lain yang relevan. Pada akhir kegiatan Saudara akan dinilai oleh pengampu dengan menggunakan format penilaian yang sudah dipersiapkan.

BAB II

KEGIATAN PEMBELAJARAN

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1: PENELITIAN TINDAKAN KELAS

A. Tujuan

Tujuan dari penulisan modul ini adalah:

1. melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian refleksi hasil pembelajaran dengan benar dan percaya diri sesuai batasan modul
2. melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat melakukan refleksi hasil pembelajaran dengan teliti
3. melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian pengembangan pembelajaran dengan percaya diri
4. melalui latihan peserta diklat dapat mengembangkan pembelajaran dengan penuh tanggungjawab
5. melalui membaca dan menggali informasi peserta diklat dapat menjelaskan tentang pengertian penelitian tindakan kelas dengan percaya diri
6. melalui diskusi peserta diklat dapat membuat proposal penelitian tindakan kelas sesuai sistematika yang disepakati dengan percaya diri
7. melalui penugasan peserta diklat dapat melakukan penelitian tindakan kelas sesuai proposal yang dibuat dengan percaya diri

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan pengertian refleksi hasil pembelajaran
2. Melakukan refleksi terhadap hasil pembelajaran
3. Menjelaskan pengertian pengembangan pembelajaran
4. Melakukan pengembangan pembelajaran
5. Menjelaskan pengertian penelitian tindakan kelas
6. Membuat proposal penelitian tindakan kelas
7. Melakukan penelitian tindakan kelas

C. Uraian Materi

1. Refleksi Hasil Pembelajaran

Keberhasilan suatu pembelajaran dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah faktor guru yang melaksanakan pembelajaran. Oleh karenanya, dalam melaksanakan pembelajaran, guru harus berpijak pada prinsip-prinsip tertentu. Dimiyati dan Mudjiono (1994) mengemukakan ada tujuh prinsip pembelajaran yaitu:

1.1. Perhatian dan Motivasi

Perhatian mempunyai peranan penting dalam kegiatan belajar, bahkan tanpa adanya perhatian tak mungkin terjadi proses belajar. Perhatian terhadap pelajaran akan timbul pada peserta didik apabila bahan pelajaran sesuai dengan kebutuhannya, bahkan dapat membangkitkan motivasi belajarnya

1.2. Keaktifan

Pada dasarnya peserta didik adalah manusia aktif yang mempunyai dorongan untuk berbuat sesuatu, mempunyai kemauan dan aspirasinya sendiri. Belajar hanya mungkin terjadi apabila peserta didik aktif mengalami sendiri.

1.3. Keterlibatan Langsung/Berpengalaman

Belajar berarti mengalami. Belajar tidak bisa dilimpahkan kepada orang lain. Belajar harus dilakukan sendiri oleh peserta didik. Edgar Dale dalam "*cone of experience*"-nya mengemukakan, "belajar yang paling baik adalah belajar melalui pengalaman langsung."

1.4. Pengulangan

Menurut teori psikologi, daya belajar adalah melatih daya-daya yang ada pada jiwa manusia, seperti daya mengamati, menanggapi, mengingat, mengkhayal, merasakan dan berfikir. Melalui pengulangan, maka daya-daya tersebut akan berkembang.

1.5. Tantangan

Field Theory dari Kurt Lewin mengemukakan bahwa peserta didik dalam situasi belajar berada dalam suatu medan atau lapangan psikologis. Dalam proses belajar, peserta didik menghadapi suatu tujuan yang ingin dicapai, tetapi selalu terdapat hambatan, yaitu mempelajari bahan belajar, maka timbullah motif untuk mengatasi hambatan itu, yaitu dengan mempelajaribahan belajar tersebut

1.6. Balikan dan Penguatan

Peserta didik akan belajar lebih bersemangat apabila mengetahui dan mendapatkan hasil yang baik. Untuk itu, guru harus melakukan penilaian hasil belajar. Hasil belajar yang baik akan balikan (feedback) yang menyenangkan dan berpengaruh baik terhadap kegiatan belajar selanjutnya.

1.7. Perbedaan Individual

Setiap peserta didik memiliki perbedaan satu dengan yang lain. Perbedaan itu terdapat pada karakteristik psikis, kepribadian dan sifat-sifatnya. Perbedaan individual ini dapat berpengaruh pada cara dan hasil belajar peserta didik.

Setelah melaksanakan proses pembelajaran, tentu guru ingin mengetahui bagaimana hasilnya. Salah satu cara yang harus dilakukan adalah dengan cara mengevaluasi diri sendiri secara jujur, objektif, dan komprehensif. Hal ini dimaksudkan agar guru dapat segera mengetahui kelemahan-kelemahan yang dilakukan dalam melaksanakan pembelajaran dan berupaya memperbaikinya untuk pembelajaran yang akan datang. Bisa saja kelemahan-kelemahan tersebut diperoleh dari orang lain atau dari peserta didik sendiri, tetapi akan lebih bijaksana bila hal tersebut dilakukan sendiri oleh guru. Mungkin kita belum terbiasa atau terlatih dengan evaluasi diri, tetapi tidak ada kata terlambat untuk memulai sesuatu yang positif dan bermakna untuk kita.

Sejalan dengan filosofi bahwa, sejatinya pendidik harus bertindak sebagai pelayan, maka perlu tindakan yang dapat memuaskan peserta didik, yaitu berupa kegiatan dimana kedua belah pihak yang terlibat dalam proses belajar mengajar diberikan ruang untuk saling menilai. Kalau penilaian dari pendidik kepada peserta didik, itu hal biasa, namun budaya untuk menilai dari peserta didik kepada pendidik, itu hal yang luar biasa dan istimewa. Padahal kegiatan itu sangat penting untuk memberikan informasi positif tentang bagaimana pendidik melakukan tugasnya sekaligus sebagai bahan observasi untuk mengetahui sejauh mana tujuan pendidikan itu tercapai. Sekaligus dalam kegiatan tersebut akan dapat diketahui tingkat kepuasan peserta didik dalam proses belajar mengajar, sehingga dapat dijadikan wahana untuk menjalin komunikasi yang baik antara pendidik dengan peserta didik. Inilah refleksi dalam pendidikan.

Refleksi sangat penting dan seharusnya dilakukan oleh guru karena melalui instrumen refleksi yang digunakan dapat diperoleh informasi positif tentang bagaimana cara guru meningkatkan kualitas pembelajarannya sekaligus sebagai bahan observasi untuk mengetahui sejauh mana tujuan pembelajaran itu tercapai. Selain itu, melalui kegiatan ini dapat tercapai kepuasan dalam diri peserta didik yaitu memperoleh wadah yang tepat dalam menjalin komunikasi positif dengan gurunya.

Jika dari refleksi diperoleh hasil baik dan disenangi oleh peserta didik, maka guru dapat mempertahankannya, tetapi jika masih kurang diminati oleh peserta didik, maka kewajiban guru yang bersangkutan adalah segera mengubah model pembelajaran dengan memadukan metode-metode atau teknik-teknik yang sesuai berdasarkan kesimpulan dari hasil refleksi yang dilakukan sebelumnya. Apapun hasil refleksi peserta didik seharusnya dihadapi dengan bijaksana dan positif thinking, karena tujuan akhir dari ini semua adalah untuk pendidikan.

Berbagai kekurangan atau kelemahan, mulai dari tahap persiapan, pelaksanaan dan evaluasi yang diperoleh dari hasil refleksi suatu proses pembelajaran, perlu segera ditindaklanjuti dengan perbaikan. Namun, semakin banyak seseorang memiliki pengalaman, maka diharapkan akan semakin sedikit kesalahan yang

dilakukan. Pepatah lama mengatakan "*experiece is the best teacher*". Hal ini berdasarkan suatu pemikiran bahwa seseorang tidak akan melakukan kesalahan yang serupa pada kegiatan pembelajaran berikutnya. Oleh sebab itu, untuk mencapai suatu kesuksesan, belajarlah dari pengalaman masa lalu sebagai bahan perbaikan. Tanpa adanya refleksi, tidak mudah bagi kita untuk mengetahui bagian-bagian atau aspek-aspek mana dari pembelajaran yang dianggap masih lemah.

Salah satu jenis penilaian yang dapat dilakukan guru dalam pembelajaran adalah penilaian diagnostik, yaitu penilaian yang berfungsi mengidentifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran. Berdasarkan penilaian diagnostik ini, guru melakukan perbaikan-perbaikan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Jika guru tidak mengetahui faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, maka akan sulit bagi guru untuk memperbaiki kualitas pembelajaran. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, guru dapat melakukannya secara perseorangan atau melalui teknik evaluasi diri atau dapat juga dilakukan secara kelompok, bersama gurusejawat lainnya yang mengajar bidang studi srumpun.

Untuk Mengoptimalkan Proses dan Hasil Belajar hendaknya kita berpijak pada hasil identifikasi faktor-faktor Penyebab Kegagalan dan Pendukung Keberhasilan dalam Pembelajaran, berdasarkan hasil identifikasi ini kemudian kita mencari alternatif pemecahannya, kemudian dari berbagai alternatif itu kita pilih mana yang mungkin dilaksanakan dilihat dari berbagai kesiapan guru, kesiapan peserta didik, sarana dan prasarana, dan sebagainya. Mengoptimalkan proses dan hasil belajar berarti melakukan berbagai upaya perbaikan agar proses belajar dapat berjalan dengan efektif dan hasil belajar dapat diperoleh secara optimal

Salah satu komponen penting dalam sisitem pembelajaran adalah materi. Banyak hasil penelitian menunjukan lemahnya penguasaan peserta didik terhadap materi pelajaran. Padahal dalam silabus, materi pelajaran sudah diatur sedemikian rupa, baik ruang lingkup, urutan materi maupun penempatan materi. Dalam hal

tertentu, kita tidak mungkin memaksakan peserta didik untuk melanjutkan ke materi pembelajaran berikutnya.

Jika sebagian besar peserta didik belum menguasai kompetensi yang diharapkan, maka kita segera mengetahui dan mencari alternatif solusi agar peserta didik tersebut dapat menguasai kompetensi yang diharapkan. Setelah diketahui siapa saja peserta didik yang gagal menguasai kompetensi, materi apa yang dianggap sulit, dimana letak kesulitannya, kemudian mencari alternatif pemecahan, antara lain melakukan pembelajaran remedial

Pengembangan suatu pembelajaran dapat dilakukan berdasarkan hasil refleksi. Refleksi adalah suatu kegiatan yang dilakukan dalam proses belajar mengajar berupa penilaian tertulis maupun lisan (umumnya tulisan) oleh anak didik atau supervisor kepada guru, berisi ungkapan kesan, pesan, harapan serta kritik membangun atas pembelajaran yang telah dilakukan. Bahasa yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah refleksi ini sangat mirip dengan curhatan anak didik atau supervisor terhadap guru tentang hal-hal yang dialami dalam kelas sejak dimulai hingga berakhirnya pembelajaran.

2. Pengembangan Pembelajaran

Interaksi di bidang pendidikan dapat diwujudkan melalui interaksi siswa dengan siswa, siswa dengan guru, siswa dengan masyarakat, guru dengan guru, guru dengan masyarakat disekitar lingkungannya. Proses interaksi ini dapat dibina dan dikembangkan sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai dalam proses pembelajaran. Dengan kata lain, pengembangan pembelajaran merupakan proses yang dilakukan oleh guru dalam menata atau merancang pembelajaran sehingga dapat memenuhi tujuan pembelajaran yang telah ditentukan sebelumnya.

Pengembangan pembelajaran umumnya dilakukan berdasarkan hasil refleksi hasil pembelajaran sebelumnya dengan menerapkan model yang sesuai. Berikut beberapa model pengembangan pembelajaran yang dapat digunakan dalam mengembangkan pembelajaran.

2.1. Model ASSURE

Model ASSURE adalah jembatan antara peserta didik, materi, dan semua bentuk media. Model ini memastikan pengembangan pembelajaran dimaksudkan untuk membantu pendidik dalam pengembangan instruksi yang sistematis dan efektif. Hal ini digunakan untuk membantu para pendidik mengatur proses belajar dan melakukan penilaian hasil belajar peserta didik. Ada enam langkah dalam pengembangan model ASSURE yaitu: *Analyze learner; State objectives; Select instructional methods, media and materials; Utilize media and materials; Require learner participation; Evaluate and revise.*

2.1.1. *Analyze learner*

Langkah pertama adalah mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik siswa yang disesuaikan dengan hasil-hasil belajar. Hal yang penting dalam menganalisis karakteristik siswa meliputi karakteristik umum dari siswa, kompetensi dasar yang harus dimiliki siswa (pengetahuan, kemampuan dan sikap), dan gaya belajar siswa

2.1.2. *State objectives*

Langkah selanjutnya adalah menyatakan standar dan tujuan pembelajaran yang spesifik mungkin. Tujuan pembelajaran dapat diperoleh dari kurikulum atau silabus, keterangan dari buku teks, atau dirumuskan sendiri oleh perancang pembelajaran.

2.1.3. *Select instructional methods, media and materials*

Tahap ini adalah memilih metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan. Dalam memilih metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan, terdapat beberapa pilihan, yaitu memilih media dan bahan ajar yang telah ada, memodifikasi bahan ajar, atau membuat bahan ajar yang baru.

2.1.4. *Utilize media and materials*

Tahap selanjutnya metode, media dan bahan ajar diuji coba untuk memastikan bahwa ketiga komponen tersebut dapat berfungsi efektif untuk digunakan dalam situasi sebenarnya.

Untuk melakukannya melalui proses 5P, yaitu: *preview* (mengulas) metode, media dan bahan ajar; *prepare* (menyiapkan) metode, media dan bahan ajar; *prepare* (menyiapkan) lingkungan; *prepare* (menyiapkan) para pemelajar; dan *provide* (memberikan) pengalaman belajar.

2.1.5. *Require learner participation*

Keterlibatan siswa secara aktif menunjukkan apakah media yang digunakan efektif atau tidak. Pembelajaran harus didesain agar membuat aktivitas yang memungkinkan siswa menerapkan pengetahuan atau kemampuan baru dan menerima umpan balik mengenai kesesuaian usaha mereka sebelum dan sesudah pembelajaran

2.1.6. *Evaluate and revise*

Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas pembelajaran dan juga hasil belajar siswa. Proses evaluasi dilakukan untuk memperoleh gambaran yang lengkap tentang kualitas sebuah pembelajaran.

Model ASSURE merupakan model desain pembelajaran yang bersifat praktis dan mudah diimplimentasikan dalam mendesain aktivitas pembelajaran yang bersifat individual maupun klasikal. Dalam menganalisis karakteristik siswa sangat memudahkan untuk menentukan metode, media dan bahan ajar yang akan digunakan, sehingga dapat menciptakan aktivitas pembelajaran yang efektif, efisien dan menarik

2.2. **Model ADDIE**

Salah satu model desain pembelajaran yang memperlihatkan tahapan-tahapan desain yang sederhana dan mudah dipelajari adalah model ADDIE (*Analysis-Design-Develop-Implement-Evaluate*). ADDIE muncul pada tahun 1990-an yang dikembangkan oleh Reiser dan Mollenda. Salah satu fungsinya yaitu menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan

infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri. Model ini menggunakan 5 tahap pengembangan yakni :

2.2.1. *Analysis*

Analisis merupakan tahap pertama yang harus dilakukan oleh seorang pengembang pembelajaran. Kaye Shelton dan George Saltsman menyatakan ada tiga segmen yang harus dianalisis yaitu siswa, pembelajaran, serta media untuk menyampaikan bahan ajarnya. Langkah-langkah dalam tahapan analisis ini setidaknya adalah: menganalisis siswa; menentukan materi ajar; menentukan standar kompetensi (*goal*) yang akan dicapai; dan menentukan media yang akan digunakan.

2.2.2. *Design*

Pendesainan dilakukan berdasarkan apa yang telah dirumuskan dalam tahapan analisis. Tahapan desain adalah analog dengan pembuatan silabus. Dalam silabus tersebut harus memuat informasi kontak, tujuan-tujuan pembelajaran, persyaratan kehadiran, kebijakan keterlambatan pekerjaan, jadwal pembelajaran, pengarahan, alat bantu komunikasi, kebijakan teknologi, serta desain tatap muka untuk pembelajaran. Langkah-langkah dalam tahapan ini adalah membuat silabus yang di dalamnya termasuk: memilih standar kompetensi (*goal*) yang telah dibuat dalam tahapan analisis; menentukan kompetensi dasar (*objektive*); menentukan indikator keberhasilan; memilih bentuk penilaian; menentukan sumber atau bahan-bahan belajar; menerapkan strategi pembelajaran; membuat *story board*; mendesain tatap muka.

2.2.3. *Development*

Tahapan ini merupakan tahapan produksi dimana segala sesuatu yang telah dibuat dalam tahapan desain menjadi nyata. Langkah-langkah dalam tahapan ini diantaranya adalah: membuat objek-

objek belajar (*learning objects*) seperti dokumen teks, animasi, gambar, video dan sebagainya; membuat dokumen-dokumen tambahan yang mendukung

2.2.4. *Implementation*

Pada tahapan ini sistem pembelajaran sudah siap untuk digunakan oleh siswa. Kegiatan yang dilakukan dalam tahapan ini adalah mempersiapkan dan memasarkannya ke target siswa

2.2.5. *Evaluation*

Evaluasi dapat dilakukan dalam dua bentuk evaluasi yaitu formatif dan sumatif. Evaluasi formatif dilakukan selama dan di antara tahapan-tahapan tersebut. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk memperbaiki sistem pembelajaran yang dibuat sebelum versi terakhir diterapkan. Evaluasi sumatif dilakukan setelah versi terakhir diterapkan dan bertujuan untuk menilai keefektifan pembelajaran secara keseluruhan. Pertanyaan-pertanyaan yang dapat diajukan dalam tahapan evaluasi adalah: Apakah tujuan belajar tercapai oleh siswa?; Bagaimana perasaan siswa selama proses belajar? suka, atau tidak suka; Adakah elemen belajar yang bekerja dengan baik atau tidak baik?; Apa yang harus ditingkatkan?; Apakah informasi dan atau pesan yang disampaikan cukup jelas dan mudah untuk dimengerti?; Apakah pembelajaran menarik, penting, dan memotivasi?

2.3. **Model Jerold E. Kamp**

Model desain sistem pembelajaran yang dikemukakan oleh Jerold E. Kemp dkk. (2001) berbentuk lingkaran atau *Cycle*. Menurut mereka, model berbentuk lingkaran menunjukkan adanya proses kontinyu dalam menerapkan desain sistem pembelajaran. Model desain sistem pembelajaran yang dikemukakan oleh Kemp dkk. terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut:

- 2.3.1. Mengidentifikasi masalah dan menetapkan tujuan pembelajaran yaitu menentukan tujuan pembelajaran umum dimana tujuan

yang ingin dicapai dalam mengajarkan masing-masing pokok bahasan

- 2.3.2. Menentukan dan menganalisis karakteristik siswa. Analisis ini diperlukan antara lain untuk mengetahui apakah latar belakang pendidikan dan sosial budaya siswa memungkinkan untuk mengikuti program, dan langkah apa yang perlu diambil.
- 2.3.3. Mengidentifikasi materi dan menganalisis komponen-komponen tugas belajar yang terkait dengan pencapaian tujuan pembelajaran.
- 2.3.4. Menetapkan tujuan pembelajaran khusus bagi siswa. Yaitu tujuan yang spesifik, operasional dan terukur, dengan demikian siswa akan tahu apa yang akan dipelajari, bagaimana mengerjakannya, dan apa ukurannya bahwa siswa telah berhasil. Dari segi guru rumusan itu dalam menyusun tes kemampuan dan pemilihan bahan/materi yang sesuai.
- 2.3.5. Membuat sistematika penyampaian materi pelajaran secara sistematis dan logis.
- 2.3.6. Merancang strategi pembelajaran. Kriteria umum untuk pemilihan strategi pembelajaran khusus tersebut: a) efisiensi, b) keefektifan, c) ekonomis, d) kepraktisan, peralatan, waktu, dan tenaga.
- 2.3.7. Menetapkan metode untuk menyampaikan materi pelajaran.
- 2.3.8. Mengembangkan instrument evaluasi. Yaitu untuk mengontrol dan mengkaji keberhasilan program secara keseluruhan, yaitu : a) siswa, b) program pembelajaran, c) instrumen evaluasi.
- 2.3.9. Memilih sumber-sumber yang dapat mendukung aktifitas pembelajaran.

3. Penelitian Tindakan Kelas

Penelitian tindakan kelas berasal dari istilah bahasa Inggris *Classroom Action Research*, yang berarti penelitian yang dilakukan pada sebuah kelas untuk mengetahui akibat tindakan yang diterapkan pada suatu subyek penelitian di kelas tersebut. Pertama kali penelitian tindakan kelas diperkenalkan oleh Kurt Lewin pada tahun 1946, yang selanjutnya dikembangkan oleh Stephen Kemmis, Robin Mc Taggart, John Elliot, Dave Ebbutt dan lainnya. Pada awalnya penelitian tindakan menjadi salah satu model penelitian yang dilakukan pada bidang pekerjaan tertentu dimana peneliti melakukan pekerjaannya, baik di bidang pendidikan, kesehatan maupun pengelolaan sumber daya manusia. Salah satu

contoh pekerjaan utama dalam bidang pendidikan adalah mengajar di kelas, menangani bimbingan dan konseling, dan mengelola sekolah. Dengan demikian yang menjadi subyek penelitian adalah situasi di kelas, individu siswa atau di sekolah. Para guru atau kepala sekolah dapat melakukan kegiatan penelitiannya tanpa harus pergi ke tempat lain seperti para peneliti konvensional pada umumnya.

Secara lebih luas penelitian tindakan diartikan sebagai penelitian yang berorientasi pada penerapan tindakan dengan tujuan peningkatan mutu atau pemecahan masalah pada sekelompok subyek yang diteliti dan mengamati tingkat keberhasilan atau akibat tindakannya, untuk kemudian diberikan tindakan lanjutan yang bersifat penyempurnaan tindakan atau penyesuaian dengan kondisi dan situasi sehingga diperoleh hasil yang lebih baik. Dalam konteks pekerjaan guru maka penelitian tindakan yang dilakukannya disebut Penelitian Tindakan Kelas, dengan demikian Penelitian Tindakan Kelas adalah suatu kegiatan penelitian dengan mencermati sebuah kegiatan belajar yang diberikan tindakan, yang secara sengaja dimunculkan dalam sebuah kelas, yang bertujuan memecahkan masalah atau meningkatkan mutu pembelajaran di kelas tersebut. Tindakan yang secara sengaja dimunculkan tersebut diberikan oleh guru atau berdasarkan arahan guru yang kemudian dilakukan oleh siswa.

Dalam hal ini arti Kelas tidak terikat pada pengertian ruang kelas, tetapi dalam pengertian yang lebih spesifik, yaitu kelas adalah sekelompok siswa yang dalam waktu yang sama, menerima pelajaran yang sama dari guru yang sama juga (Suharsimi: 2005).

Terdapat beberapa tujuan penelitian, diantaranya adalah untuk memecahkan masalah yang dihadapi manusia dan menemukan serta mengembangkan suatu pengetahuan. Khususnya untuk penelitian tindakan kelas memiliki tujuan untuk memperbaiki dan atau meningkatkan praktik pembelajaran secara berkesinambungan (Tim Pelatih Proyek PGSM : 1999).

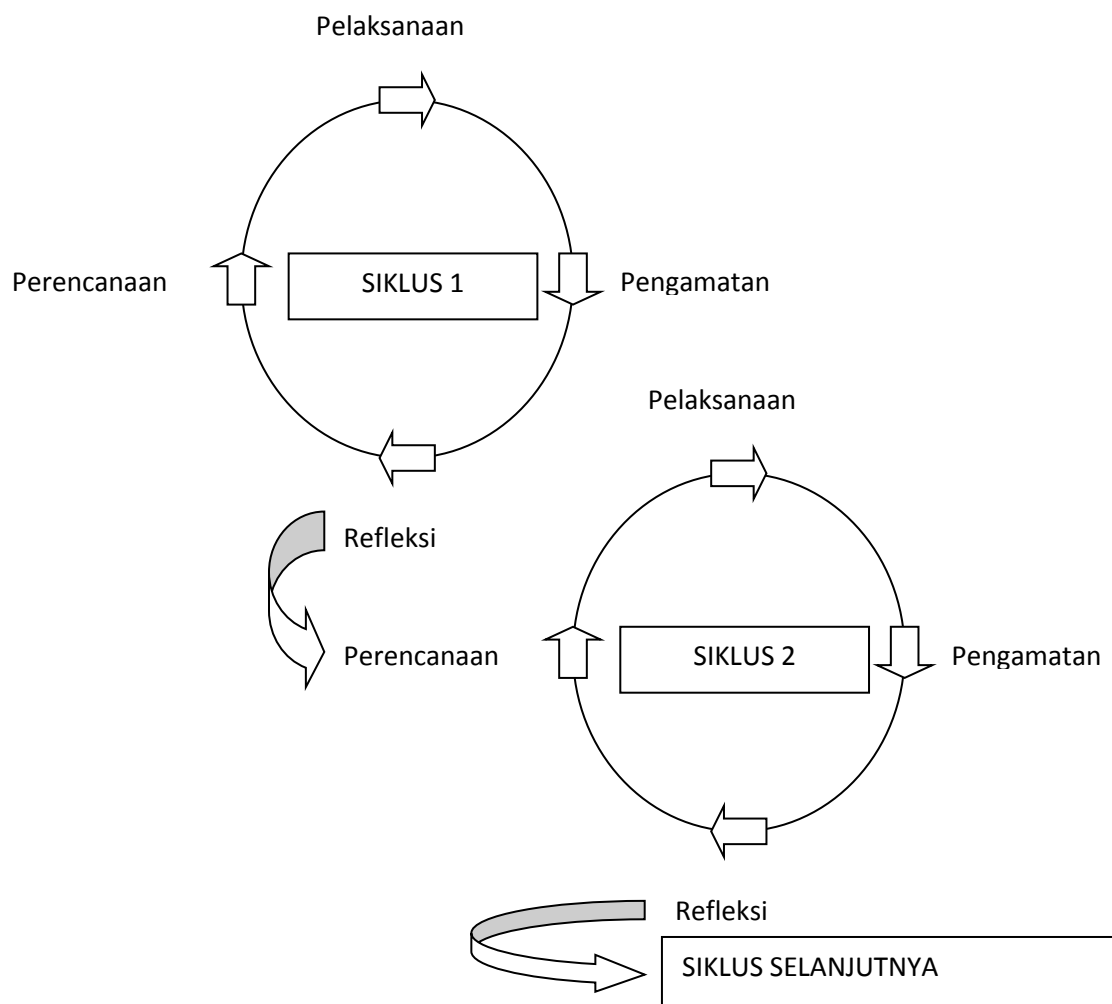
Beberapa pakar mengemukakan karakteristik penelitian tindakan kelas sebagai berikut : (1) didasarkan atas masalah yang dihadapi guru dalam pembelajaran; (2)

dilakukan secara kolaboratif melalui kerja sama dengan pihak lain; (3) peneliti sekaligus sebagai praktisi yang melakukan refleksi; (4) bertujuan memecahkan masalah atau meningkatkan mutu pembelajaran; dan (5) dilaksanakan dalam rangkaian langkah yang terdiri dari beberapa siklus; (6) yang diteliti adalah tindakan yang dilakukan, meliputi efektifitas metode, teknik, atau proses pembelajaran (termasuk perencanaan, pelaksanaan dan penilaian); (7) tindakan yang dilakukan adalah tindakan yang diberikan oleh guru kepada peserta didik.

Agar peneliti memperoleh informasi atau kejelasan tetapi tidak menyalahi kaidah yang ditentukan, perlu kiranya difahami bersama prinsip-prinsip yang harus dipenuhi apabila sedang melakukan penelitian tindakan kelas. Secara umum prinsip-prinsip tersebut adalah : (1) tidak mengganggu komitmen guru sebagai pengajar; (2) metode pengumpulan data tidak menuntut waktu yang berlebihan; (3) metodologi yang digunakan harus reliable sehingga memungkinkan guru mengidentifikasi serta merumuskan hipotesis secara meyakinkan; (4) masalah berawal dari kondisi nyata di kelas yang dihadapi guru; (5) dalam penyelenggaraan penelitian, guru harus memperhatikan etika profesionalitas guru; (6) meskipun yang dilakukan adalah di kelas, tetapi harus dilihat dalam konteks sekolah secara menyeluruh; (7) tidak mengenal populasi dan sampel; (8) tidak mengenal kelompok eksperimen dan control; dan (9) tidak untuk digeneralisasikan.

3.1. Pelaksanaan Penelitian Tindakan Kelas

Ada beberapa ahli yang mengemukakan model penelitian tindakan kelas seperti dinyatakan sebelumnya, namun secara garis besar terdapat empat tahapan yang lazim dilalui, yaitu tahap: (1) perencanaan, (2) pelaksanaan, (3) pengamatan, dan (4) refleksi. Namun perlu diketahui bahwa tahapan pelaksanaan dan pengamatan sesungguhnya dilakukan secara bersamaan. Adapun model dan penjelasan untuk masing-masing tahap adalah sebagai berikut.



Gambar 1. 1 Alur Penelitian Tindakan Kelas dengan 4 Tahap Kegiatan

Tahap 1: Perencanaan tindakan

Dalam tahap ini peneliti menjelaskan tentang apa, mengapa, kapan, di mana, oleh siapa, dan bagaimana tindakan tersebut dilakukan. Penelitian tindakan yang ideal sebetulnya dilakukan secara berpasangan antara pihak yang melakukan tindakan dan pihak yang mengamati proses jalannya tindakan (apabila dilaksanakan secara kolaboratif). Cara ini dikatakan ideal karena adanya upaya untuk mengurangi unsur subjektivitas pengamat serta mutu kecermatan amatan yang dilakukan. Bila dilaksanakan sendiri oleh guru sebagai peneliti maka instrumen pengamatan harus disiapkan disertai lembar catatan lapangan. Yang perlu diingat bahwa pengamatan yang diarahkan pada diri sendiri biasanya kurang teliti dibanding dengan pengamatan yang dilakukan terhadap hal-hal yang berada di luar diri, karena adanya unsur subjektivitas yang berpengaruh, yaitu cenderung mengunggulkan dirinya. Dalam pelaksanaan pembelajaran rencana tindakan dalam rangka penelitian dituangkan dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP).

Tahap 2: Pelaksanaan Tindakan

Tahap ke-2 dari penelitian tindakan adalah pelaksanaan, yaitu implementasi atau penerapan isi rencana tindakan di kelas yang diteliti. Hal yang perlu diingat adalah bahwa dalam tahap 2 ini pelaksana guru harus ingat dan berusaha mentaati apa yang sudah dirumuskan dalam rencana tindakan, tetapi harus pula berlaku wajar, tidak kaku dan tidak dibuat-buat. Dalam refleksi, keterkaitan antara pelaksanaan dengan perencanaan perlu diperhatikan.

Tahap 3: Pengamatan terhadap tindakan

Tahap ke-3, yaitu kegiatan pengamatan yang dilakukan oleh pengamat (baik oleh orang lain maupun guru sendiri). Seperti telah

dijelaskan sebelumnya bahwa kegiatan pengamatan ini tidak terpisah dengan pelaksanaan tindakan karena pengamatan dilakukan pada waktu tindakan sedang dilakukan. Jadi keduanya berlangsung dalam waktu yang sama. Sebutan tahap 2 dan 3 dimaksudkan untuk memberikan peluang kepada guru pelaksana yang berstatus juga sebagai pengamat, yang mana ketika guru tersebut sedang melakukan tindakan tentu tidak sempat menganalisis peristiwanya ketika sedang terjadi. Oleh karena itu kepada guru pelaksana yang berstatus sebagai pengamat ini untuk melakukan "pengamatan balik" terhadap apa yang terjadi ketika tindakan berlangsung. Sambil melakukan pengamatan balik ini guru pelaksana mencatat sedikit demi sedikit apa yang terjadi.

Tahap 4: Refleksi terhadap tindakan

Tahap ke-4 ini merupakan kegiatan untuk mengemukakan kembali apa yang sudah dilakukan. Istilah "refleksi" dari kata bahasa Inggris *reflection*, yang diterjemahkan dalam bahasa Indonesia pemantulan. Kegiatan refleksi ini sebetulnya lebih tepat dikenakan ketika guru pelaksana sudah selesai melakukan tindakan, kemudian berhadapan dengan peneliti untuk mendiskusikan implementasi rancangan tindakan. Inilah inti dari penelitian tindakan, yaitu ketika guru pelaku tindakan mengatakan kepada peneliti pengamat tentang hal-hal yang dirasakan sudah berjalan baik dan bagian mana yang belum. Apabila guru pelaksana juga berstatus sebagai pengamat, maka refleksi dilakukan terhadap diri sendiri. Dengan kata lain guru tersebut melihat dirinya kembali, melakukan "dialog" untuk menemukan hal-hal yang sudah dirasakan memuaskan hati karena sudah sesuai dengan rancangan dan mengenali hal-hal yang masih perlu diperbaiki. Dalam hal seperti ini maka guru melakukan "self evaluation" yang diharapkan dilakukan secara obyektif. Untuk menjaga obyektifitas

tersebut seringkali hasil refleksi ini diperiksa ulang atau divalidasi oleh orang lain, misalnya guru/teman sejawat yang diminta mengamati, ketua jurusan, kepala sekolah atau nara sumber yang menguasai bidang tersebut. Jadi pada intinya kegiatan refleksi adalah kegiatan evaluasi, analisis, pemaknaan, penjelasan, penyimpulan dan identifikasi tindak lanjut dalam perencanaan siklus selanjutnya.

Keempat tahap dalam penelitian tindakan tersebut adalah unsur untuk membentuk sebuah siklus, yaitu satu putaran kegiatan beruntun, dari tahap penyusunan rancangan sampai dengan refleksi, yang tidak lain adalah evaluasi. Apabila dikaitkan dengan "bentuk tindakan" sebagaimana disebutkan dalam uraian ini, maka yang dimaksud dengan bentuk tindakan adalah siklus tersebut. Jadi bentuk penelitian tindakan tidak pernah merupakan kegiatan tunggal tetapi selalu berupa rangkaian kegiatan yang akan kembali ke asal, yaitu dalam bentuk siklus.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Di dalam kegiatan penelitian, cara memperoleh data ini dikenal sebagai metode pengumpulan data. Metode pengumpulan data yang lazim dilakukan dalam penelitian tindakan kelas adalah metode observasi, wawancara, kuesioner, dokumentasi dan tes, yang kesemuanya merupakan bagian dari metode pengumpulan data. Seringkali orang mengartikan observasi sebagai suatu aktivitas yang sempit, yakni memperhatikan sesuatu dengan menggunakan mata. Di dalam pengertian psikologi, observasi atau yang disebut pula dengan pengamatan, meliputi kegiatan pemusatan perhatian terhadap sesuatu obyek dengan menggunakan seluruh alat indera. Jadi mengobservasi dapat dilakukan melalui penglihatan, penciuman, pendengaran, peraba dan pengecap.

3.3. Variabel dan Hipotesis

Variabel Penelitian pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. (Sugiyono, 2007). Beberapa pakar mengatakan bahwa dalam penelitian tindakan kelas hanya dikenal adanya variabel tunggal, yaitu variabel tindakan. Namun beberapa pakar lain menyebutkan **bahwa** terdapat dua variabel, yaitu variabel tindakan dan variabel masalah, karena tindakan yang dilakukan adalah untuk memecahkan masalah.

Tidak semua jenis penelitian mempunyai hipotesis. Hipotesis merupakan dugaan sementara yang selanjutnya diuji kebenarannya sesuai dengan model dan analisis yang cocok. Hipotesis penelitian dirumuskan atas dasar kerangka pikir yang merupakan jawaban sementara atas masalah yang dirumuskan.

3.4. Sasaran Penelitian

Sasaran atau objek dari penelitian tindakan kelas harus merupakan sesuatu yang aktif dan dapat dikenai aktivitas, bukan objek yang sedang diam dan tanpa gerak. Arikunto (2006). Beberapa pakar mengatakan bahwa dalam penelitian tindakan kelas tidak dikenal istilah populasi dan sampel, karena pada penelitian tindakan yang menjadi sasaran penelitian adalah keseluruhan siswa di sebuah kelas dan hasil penemuan serta kesimpulan penelitian hanya berlaku untuk kelas tersebut. Pakar lain menyebutkan bahwa penelitian tindakan kelas dapat dikatakan penelitian populasi karena yang diteliti adalah keseluruhan subyek penelitian. Namun yang pasti bahwa hasil temuan dan kesimpulan penelitian tidak untuk digeneralisasikan, misalnya bahwa keberhasilan sebuah metode pada sebuah kelas akan berhasil juga pada kelas lain di sekolah tersebut.

3.5. Persiapan dan Pelaksanan Penelitian Tindakan Kelas

Sebelum melakukan penelitian tindakan kelas, perjelas lebih dulu latar belakang masalah, rumusan masalah dan tujuan penelitian. Yang perlu

dilakukan adalah adanya kesinkronan antara masalah dan tujuan penelitian. Masalah penelitian dirumuskan dengan mendefinisikan masalah nyata di kelas, misalnya : siswa kurang aktif pada pembelajaran Fisika. Masalah kurang aktifnya siswa ini kemudian dipecahkan dengan upaya menerapkan metode pemberian tugas proyek. Gabungan dari masalah nyata di kelas dan pemecahannya selanjutnya ditulis dalam bentuk hipotesis, yaitu : "Penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran mampu meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2014/2015".

Karena tujuan penelitian adalah memecahkan masalah maka rumusan masalah penelitian disusun dengan mempertanyakan hipotesis, yaitu : "Apakah penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran mampu meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan Kelas XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2008/2009?". Dengan rumusan masalah penelitian seperti itu maka tujuan penelitian yang sesuai adalah : "Untuk mengetahui keberhasilan penerapan metode pemberian tugas proyek dalam pembelajaran guna meningkatkan aktifitas siswa pada pembelajaran Teknik Pemesinan kelas XI SMK Wirausaha Tahun Ajaran 2008/2009".

Setelah jelas masalah dan tujuannya maka ditentukan Indikator Keberhasilan penerapan Metode Pemberian Tugas Proyek, yang selanjutnya juga dibuat Indikator Proses dan Urutan Kegiatan sesuai tabel kisi-kisi di atas. Urutan kegiatan itulah yang dituangkan dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran. Berdasarkan urutan kegiatan tersebut dapat ditentukan instrumen yang diperlukan yakni berupa lembar pengamatan (untuk mengamati tingkah laku siswa, guru, dan penggunaan sarana pembelajaran). Bila dirasakan perlu mengorek keterangan lebih jauh maka dapat disiapkan pedoman wawancara atau bahkan disiapkan angket. Setelah instrumen penelitian disiapkan maka

disiapkan segala keperluan yang akan digunakan dalam pembelajaran, misalnya lembar materi, lembar tes, alat peraga dan sebagainya.

Apabila sudah siap maka dimulailah penerapan tindakan dalam kelas yang diajar oleh guru. Penerapan tindakan mungkin saja dilakukan dalam beberapa kali tatap muka. Setiap kali tatap muka maka sekaligus dilakukan pengamatan oleh rekan mitra kerja atau oleh guru sendiri. Selesai satu tindakan, selanjutnya guru melakukan refleksi pelaksanaan pembelajaran atas dasar pengamatan yang sudah dilakukan. Dalam hal ini guru mengkaji isi lembar observasi, hasil tes, catatan lapangan, atau hasil angket bila ada. Yang perlu diingat adalah, sejauh mana penerapan tindakan tersebut telah mencapai keberhasilan sebagaimana ditunjukkan dalam Indikator Keberhasilan dan sejauh mana prosesnya telah sesuai dengan Indikator Proses yang direncanakan. Dari hasil refleksi yang berupa evaluasi pelaksanaan pembelajaran ini maka guru merencanakan tindakan lanjutan yang berupa perbaikan atas kekurangan yang terjadi dalam pelaksanaan pembelajaran sesuai dengan pemberian tindakan yang telah direncanakan. Demikian seterusnya proses berjalan siklus demi siklus sampai dirasakan bahwa tindakan yang diterapkan telah berhasil meningkatkan mutu pembelajaran.

3.6. Sistematika Proposal Penelitian

Seperti halnya pada jenis penelitian yang lain, untuk melakukan PTK pun diawali dengan pembuatan proposal yang berisi rancangan tindakan untuk mendapatkan kesepakatan/persetujuan dari pimpinan sekolah sebagai bentuk dukungan yang dapat menjadi motivasi dalam melaksanakan kegiatannya, Sistematika dari proposal PTK dapat dibuat seperti berikut.

Halaman Judul

Halaman ini minimal berisi Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Instansi Peneliti

Halaman Pengesahan

Halaman ini berisi pernyataan pengesahan Judul Penelitian oleh Pembimbing dan Pimpinan Instansi/Sekolah

Kata Pengantar

Halaman ini berisi ungkapan rasa syukur, ucapan terima kasih pada yang terlibat dalam penelitian, dan harapan peneliti dengan dilakukannya penelitian.

Daftar Isi

Halaman ini berisi sistematika dari isi proposal

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Halaman ini dapat berisi Dasar Hukum Pelaksanaan Pendidikan (UU, PP atau Permendikbud), Keberadaan/Kondisi Sekolah, Permasalahan yang sering terjadi di sekolah, serta harapan peneliti setelah dilakukan penelitian.

1.2 Identifikasi Masalah

Halaman ini berisi hasil identifikasi setiap alinea pada latar belakang yang dapat memunculkan masalah dalam pelaksanaan persekolahan atau pembelajaran di kelas.

1.3 Batasan Masalah

Halaman ini berisi masalah yang dipilih untuk diteliti dari hasil identifikasi masalah

1.4 Rumusan Masalah

Halaman ini berisi ungkapan rumusan masalah yang dipilih pada batasan masalah. Biasanya diungkapkan dalam kalimat tanya. Dari rumusan masalah ini dapat menetapkan judul penelitian

1.5 Tujuan Penelitian

Halaman ini berisi ungkapan tujuan sesuai dengan rumusan masalah yang dibuat

1.6 Manfaat Penelitian

Halaman ini berisi manfaat hasil penelitian yang dapat dirinci untuk Dinas Pendidikan, Sekolah dan Guru.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Teori Pendukung

Halaman ini berisi konsep/teori dari variabel penelitian

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Halaman ini berupa kutipan hasil-hasil penelitian sejenis (ada kesamaan variabel penelitian) yang telah dilakukan.

2.3 Hipotesis Tindakan

Halaman ini berisi pernyataan hipotesis/asumsi/jawaban sementara dari tindakan yang akan dilakukan berdasarkan teori pendukung dan hasil penelitian yang relevan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Setting

3.1.1 Tempat Penelitian

3.1.2 Waktu dan Siklus Penelitian

3.1.3 Observer

3.2 Subyek Penelitian

Halaman ini berisi jumlah siswa dan kelas berapa yang akan dijadikan obyek penelitian

3.3 Sumber Data

Halaman ini berisi jenis data yang diperlukan dalam penelitian yang diambil dari proses pembelajaran dan atau nilai siswa

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Halaman ini berisi penjelasan teknik pengumpulan data menggunakan instrumen apa (pengamatan, penilaian atau perbandingan)

3.5 Validasi Data

Halaman ini berisi ungkapan perlunya membandingkan data yang diperoleh dengan data sebelumnya yang telah dimiliki untuk keperluan validasi.

3.6 Teknik Pengolahan Data

Halaman ini berisi cara mengolah data hasil penelitian baik yang berupa pernyataan atau kualitatif maupun yang berupa angka atau kuantitatif

3.7 Indikator Kinerja

Halaman ini berisi ungkapan indikator yang dijadikan dasar untuk menentukan kapan penelitian ini sudah mencapai tujuannya

3.8 Prosedur Penelitian

Halaman ini berisi langkah-langkah atau tahapan penelitian yang akan dilakukan dari awal sampai penyusunan laporan

3.9 Jadwal Penelitian

Halaman ini berisi rencana pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian

3.10 Rencana Anggaran

Halaman ini berisi besaran dana yang diperlukan untuk masing-masing kegiatan penelitian dan alat bahan bahan yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

3.7. Sistematika Laporan Penelitian

Salah satu bukti dari penelitian yang sudah dilaksanakan adalah dengan disusunnya laporan hasil penelitian. Untuk memudahkan penyusunan, dapat mengacu pada proposal yang telah dibuat sebelum penelitian dilakukan, khususnya untuk bab I dan bab II serta memodifikasi bab III nya, Secara utuh, isi dari laporan penelitian dapat dibuat seperti sistematika berikut.

Halaman Judul

Halaman Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

Daftar Gambar/Tabel

I. Pendahuluan

- 1.1 Latar belakang
- 1.2 Identifikasi masalah (*diidentifikasi dari setiap alinea pada latar belakang*)
- 1.3 Pembatasan masalah (*dipilih dari identifikasi masalah*)
- 1.4 Rumusan masalah (*dari pembatasan masalah*)
- 1.5 Tujuan penelitian (*sesuaikan dengan rumusan masalah*)
- 1.6 Manfaat penelitian (*bagi pribadi peneliti, teman sejawat dan sekolah*)
- II. Landasan Teori
 - 2.1 Teori yang mendukung/relevan (*variable penelitian dan keterangan yang tertulis dalam judul penelitian*)
 - 2.2 Hasil penelitian yang relevan (*tuliskan nama peneliti, judul dan kesimpulan penelitiannya*)
 - 2.3 Kerangka berpikir/paradigma penelitian (*alur antar variable bebas dan terikat atau alur dari kondisi awal ke kondisi akhir penelitian*)
 - 2.4 Hipotesis tindakan
- III. Metode Penelitian
 - 3.1 Setting (*tempat, waktu, siklus, observer*)
 - 3.2 Subyek Penelitian (*siswa, guru*)
 - 3.3 Sumber Data (*melalui KBM, guru, siswa*)
 - 3.4 Teknik Pengumpulan Data (*pengamatan, wawancara, dokumen, tes*)
 - 3.5 Validasi Data (*Hasil belajar yang divalidasi instrumen tes dan proses pembelajaran yang divalidasi datanya*)
 - 3.6 Teknik Analisis Data (*model interaktif dengan reduksi data atau model analisis normatif berdasarkan norma misalnya kurikulum*)
 - 3.7 Indikator kinerja (*kondisi akhir yang diharapkan*)
 - 3.8 Prosedur/langkah-langkah penelitian
- IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan
 - 4.1 Deskripsi Kondisi Awal
 - 4.2 Deskripsi Hasil Siklus I
 - 4.2.1 Perencanaan Tindakan
 - 4.2.2 Pelaksanaan Tindakan
 - 4.2.3 Hasil Pengamatan
 - 4.2.4 Refleksi
 - 4.3 Deskripsi Hasil Siklus II
 - 4.4 Pembahasan Tiap Siklus & Antarsiklus
 - 4.5 Kesimpulan dari Hasil Penelitian
 - 4.5.1 Sajikan tiap siklus (*rencana tindakan, pelaksanaan pembelajaran guru-siswa, tanggapan siswa, variabel yang diteliti, analisis dan refleksi*)
 - 4.5.2 Siklus I
 - 4.5.3 Siklus II
 - 4.5.4 Pembahasan antarsiklus
- V. Penutup (Simpulan dan Saran)
- Daftar Pustaka

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan untuk mempelajari modul ini adalah sebagai berikut:

Aktivitas 1: Membacaisi materi (Mengamati)

Bacalah materi pembelajaran yang terdapat dalam modul ini, kemudian catatlah hal-hal yang belum Anda pahami dari hasil membaca tersebut.

Aktivitas 2 :Tanya Jawab tentang materi (Menanya)

Dari hasil membaca materi pada kegiatan sebelumnya lakukan tanya jawab dengan teman sekelompok ataupun dengan instruktur/widyaiswara dari hal-hal yang belum Anda mengerti dari konsep yang sudah dipelajari

Aktivitas 3 :Mengumpulkan informasi tentangmateri (Mencoba)

Carilah informasi berkenaan dengan materi yang dipelajari. Informasi bisa didapat dari sumber lain selain modul misalnya dari *internet* atau dari hasil wawancara dengan narasumber yang dianggap mampu menjawab persoalan pada aktivitas 2

Aktivitas 4: Menganalisis informasi berkaitan dengan materi(Menalar)

Lakukan analisis terhadap informasi yang didapat pada aktivitas 3, kemudian olah informasi tersebut sehingga diperoleh jawaban yang tepat terhadap persoalan yang diberikan

Aktivitas 5: Mengkomunikasikan hasil diskusi (Mengomunikasikan)

Lakukan presentasi di depan kelas dan mintalah masukan dari teman-teman Anda kemudian dari hasil masukan tersebut lakukan perbaikan terhadap permasalahan yang telah dibuat sebelumnya

E. Rangkuman

1. 7 (tujuh) prinsip pembelajaran mencakup (1) perhatian dan motivasi; (2) keaktifan; (3) keterlibatan langsung; (4) pengulangan; (5) tantangan; (6) balikan dan penguatan; dan (7) perbedaan individual.
2. Refleksi adalah suatu kegiatan yang dilakukan dalam proses belajar mengajar berupa penilaian tertulis maupun lisan oleh anak didik atau supervisor kepada guru, berisi ungkapan kesan, pesan, harapan serta kritik membangun atas pembelajaran yang telah dilakukan.
3. Faktor yang perlu direfleksikan mencakup tahap persiapan (setting kelas, fasilitas, bahan belajar dan RPP), pelaksanaan (keterlaksanaan RPP, ketepatan model/strategi/teknik pembelajaran, keterlibatan siswa, kecukupan waktu dan variasi guru mengelola kelas) serta evaluasi (kesesuaian soal dengan tujuan pembelajaran, teknik evaluasi dan tindak lanjut yang dibuat).
4. Pengembangan pembelajaran merupakan proses yang dilakukan oleh guru dalam menata atau merancang pembelajaran sehingga dapat memenuhi tujuan pembelajaran yang telah ditentukan sebelumnya.
5. Model pembelajaran ASSURE mencakup *Analyze learner; State objectives; Select instructional methods, media and materials; Utilize media and materials; Require learner participation; Evaluate and revise.*
6. Model pembelajaran ADDIE mencakup kegiatan *Analysis, Design-Develop, Implement, dan Evaluate.*
7. Model pembelajaran yang dikemukakan oleh Jerold E. Kemp dkk. berbentuk lingkaran atau Cycle. yang menunjukkan adanya proses kontinyu dalam menerapkan desain sistem pembelajaran.
8. Penelitian tindakan kelas diartikan sebagai penelitian yang berorientasi pada penerapan tindakan dengan tujuan peningkatan mutu atau pemecahan masalah pada sekelompok subyek yang diteliti dan mengamati tingkat keberhasilan atau akibat tindakannya, untuk kemudian diberikan tindakan lanjutan yang bersifat penyempurnaan tindakan atau penyesuaian dengan kondisi dan situasi sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.
9. Pelaksanaan penelitian tindakan minimal dilakukan dalam dua siklus yang setiap siklus terdiri (1) perencanaan, (2) pelaksanaan, (3) pengamatan, dan (4) refleksi.

F. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang tepat dari soal berikut !

1. Perencanaan pembelajaran merupakan langkah awal bila guru akan melakukan peningkatan kualitas pembelajaran. Kegiatan yang paling penting dalam perencanaan adalah....
 - A. mengidentifikasi masalah yang akan timbul
 - B. menyiapkan rubrik penilaian dan post test
 - C. merancang secara rinci kegiatan yang akan dilakukan
 - D. memilih bahan ajar yang mengandung permasalahan
2. Refleksi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam kegiatan pembelajaran, karena akan menentukan
 - A. apakah tindakan yang dilakukan mencapai tujuan
 - B. apakah siswa menunjukkan aktivitas yang lebih baik
 - C. apakah guru sudah jujur menilai proses pembelajaran
 - D. apakah aktivitas belajar mengajar sesuai jadwal
3. Refleksi hasil pembelajaran yang paling tepat dilakukan guru adalah
 - A. menyempurnakan rencana pelaksanaan pembelajarannya
 - B. melakukan wawancara dengan siswa tentang hasil pembelajaran
 - C. berdiskusi dengan guru lain yang mengajar di kelas yang sama
 - D. menerapkan strategi pembelajaran berbeda
4. Penelitian Tindakan Kelas (PTK) wajib dilakukan oleh guru di dalam kelas dengan fokus pada pembelajaran, karena tujuan utamanya adalah meningkatkan....
 - A. aktivitas guru dalam mengajar
 - B. partisipasi siswa dalam belajar
 - C. salah satu syarat kenaikan pangkat guru
 - D. kualitas praktik pembelajaran di kelas
5. Langkah awal yang perlu disadari oleh semua guru yang akan melakukan Penelitian Tindakan Kelas (PTK) adalah....
 - A. menuliskan judul penelitian
 - B. merumuskan tujuan penelitian
 - C. menyadari adanya masalah
 - D. menemukan metode yang sesuai
6. Manakah diantara judul penelitian berikut yang menggambarkan penelitian tindakan kelas....
 - A. Peningkatan keterampilan menulis siswa SMP kelas VIII melalui metode tugas terstruktur
 - B. Peranan wali kelas dalam meningkatkan aktivitas siswa kelas VII SMP Negeri Y.
 - C. Usaha guru dalam meningkatkan keterampilan sosial siswa pada mata pelajaran IPS kelas VII SMP YY.
 - D. Hubungan antara tingkat sosial ekonomi orangtua siswa dengan hasil belajar siswa kelas X SMP Negeri Y
7. Menginventarisir berbagai masalah yang muncul di sekolah tempat guru mengajar dapat dikategorikan ke dalam kegiatan....
 - A. merumuskan masalah

- B. membatasi masalah
 - C. Identifikasi masalah
 - D. Penjelasan masalah
8. Hasil nyata dari penelitian tindakan kelas dalam proses pembelajaran adalah....
 - A. tersusunnya laporan penelitian kelas
 - B. meningkatnya hasil belajar siswa
 - C. aktivitas belajar mengajar semakin meningkat
 - D. tingginya aktivitas guru dalam mengajar
 9. Dalam melakukan penelitian tindakan kelas guru seringkali berbuat kesalahan berikut ini, kecuali...
 - A. Mengganti metode pada siklus berikutnya
 - B. Tiap siklus menggunakan kelas yang berbeda
 - C. Materi pelajaran di ulang-ulang pada tiap siklus
 - D. Kondisi siswa dalam setting belajar yang alami
 10. Tindakan yang akan dilakukan oleh guru dalam PTK untuk memperbaiki proses pembelajaran atau hasil belajar yang ingin dicapai siswa seharusnya berbasis....
 - A. Perijinan dan dana yang dimiliki oleh guru
 - B. Waktu dan materi yang dialokasikan dalam kurikulum
 - C. Rendahnya hasil dan kesulitan belajar siswa di kelas
 - D. Besarnya angka kredit yang ingin dicapai oleh guru
 11. Bab II berisi tentang tinjauan pustaka yang memuat berbagai teori yang akan menjadi fondasi dalam pemecahan masalah, karena itu harus berisi....
 - A. Filosofi tentang hakikat pendidikan
 - B. Konsep-konsep yang terkait dengan judul
 - C. Berbagai model dan metode pembelajaran
 - D. Materi pembelajaran yang akan diajarkan
 12. Perencanaan pembelajaran merupakan langkah awal bila guru akan melakukan tindakan kelas, kegiatan yang paling penting dalam perencanaan adalah....
 - A. Mengidentifikasi masalah yang akan timbul
 - B. Menyiapkan rubrik penilaian dan post test
 - C. Memilih bahan ajar yang mengandung permasalahan
 - D. Merancang secara rinci kegiatan yang akan dilakukan
 13. Refleksi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam kegiatan penelitian tindakan kelas, karena akan menentukan
 - A. apakah tindakan yang dilakukan mencapai tujuan
 - B. apakah siswa menunjukkan aktivitas yang lebih baik
 - C. apakah guru sudah jujur menilai proses pembelajaran
 - D. apakah aktivitas belajar mengajar sesuai jadwal
 14. Penelitian tindakan kelas tidak mengganggu proses belajar mengajar yang rutin dilakukan oleh guru, karena penelitian tindakan kelas
 - A. komprehensif antara metode dengan media
 - B. integrasi dengan belajar mengajar sehari-hari
 - C. mengikuti etika akademis
 - D. mempergunakan post dan pretest design

15. Langkah-langkah manakah yang sistimatis dalam melaksanakan penelitian tindakan kelas (PTK)
- A. Perencanaan-Tindakan- Pengamatan-Evaluasi dan Refleksi
 - B. Perencanaan- Pengamatan-Tindakan-Evaluasi dan Refleksi
 - C. Perencanaan-Tindakan-Evaluasi dan Refleksi- Pengamatan
 - D. Perencanaan-Pengamatan-Evaluasi dan Refleksi-Tindakan

G. Kunci Jawaban

1. C
2. A
3. B
4. D
5. C
6. A
7. C
8. B
9. D
10. C
11. B
12. D
13. A
14. B
15. A

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : SISTEM DASAR KONTROL

A. Tujuan

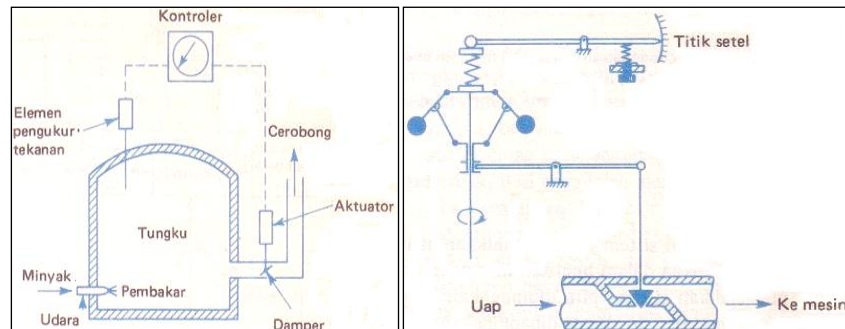
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan istilah-istilah yang ada pada sistem kontrol
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan sistem pengontrolan proses
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menyebutkan contoh ilustrasi sistem kontrol
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan jenis-jenis sistem kontrol
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan prinsip-prinsip desain sistem kontrol
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menurunkan fungsi alih dari sistem fisik
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat membuat diagram blok sistem kontrol.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

- Menjelaskan istilah-istilah yang ada pada sistem kontrol
- Menjelaskan sistem pengontrolan proses
- Menyebutkan contoh ilustrasi sistem kontrol
- Menjelaskan jenis-jenis sistem kontrol
- Menjelaskan prinsip-prinsip desain sistem kontrol
- Menurunkan fungsi alih dari sistem fisik
- Membuat diagram blok sistem kontrol.

C. Uraian Materi

Coba Anda perhatikan Gambar 2.1 di bawah.



Gambar 2. 1 Rangkaian kontrol tekanan otomatis; sistem tungku(kiri); kontrol kecepatan uap (kanan)

Apa yang Anda ketahui dengan sistem kontrol otomatis? Bagaimana prinsip pada Gambar 2.1? Mengapa rangkaian ini dapat meregulasi tekanan dan kecepatan uap tersebut? Gambarkan diagram blok dari gambar tersebut! Diskusikan tentang jenis jenis kontrol dan berikan contoh masing-masing satu. Diskusikan pula prinsip-prinsip desain sistem kontrol, bacalah buku bahan ajar ini atau informasi dari sumber lain untuk mendapatkan informasi yang lebih dalam, baik dari internet atau buku sumber lainnya, presentasikan setelah diskusi selesai.

Istilah-istilah Pada Sistem Kontrol

Pada bagian ini akan mendefinisikan istilah-istilah yang diperlukan untuk menjelaskan desain sistem kontrol PLTMh dan sistem kontrol PLTMh.

Plant. *plant* adalah seperangkat peralatan, mungkin hanya terdiri dari beberapa bagian mesin yang bekerja bersama-sama, yang digunakan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Dalam buku ini, setiap obyek fisik yang dikontrol (seperti tungku pemanas, reaktor kimia, dan generator, pesawat ruang angkasa) disebut *Plant*.

Proses (process). Kamus Merriam-Webster mendefinisikan proses sebagai operasi atau perkembangan alamiah yang berlangsung secara kontinyu yang ditandai oleh suatu deretan perubahan kecil yang berurutan dengan cara yang relatif tetap dan menuju ke suatu hasil atau keadaan akhir tertentu,; atau suatu operasi yang sengaja dibuat, berlangsung secara kontinyu, yang terdiri dari beberapa aksi atau perubahan yang

dikontrol, yang diarahkan secara sistematis menuju ke suatu hasil atau keadaan akhir tertentu. Dalam buku ini, setiap operasi yang dikontrol disebut proses. Sebagai contoh adalah proses kimia, ekonomi, dan biologi.

Sistem (*system*). Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu. Sistem tidak dibatasi hanya untuk sistem fisik saja. Konsep sistem dapat digunakan pada gejala yang abstrak dan dinamis seperti yang dijumpai dalam ekonomi. Oleh karena itu istilah "sistem" harus diinterpretasikan untuk menyatakan sistem fisik, biologi, ekonomi, dan sebagainya.

Gangguan (*disturbance*). Gangguan adalah suatu sinyal yang cenderung mempunyai pengaruh yang merugikan pada harga keluaran sistem. Jika suatu gangguan dibangkitkan dalam sistem, disebut internal; sedangkan gangguan eksternal dibangkitkan di luar sistem dan merupakan suatu masukan.

Kontrol berumpan-balik (*feedback control*). Kontrol berumpan-balik adalah suatu operasi yang dengan adanya beberapa gangguan, cenderung memperkecil selisih antara keluaran sistem dan masukan acuan (atau suatu keadaan yang diinginkan, yang secara sembarang diubah) dan bekerja berdasarkan selisih tersebut. Di sini, hanya terhadap gangguan yang tidak dapat diramal (diketahui sebelumnya) yang dimaksudkan untuk pengontrolan sistem, karena untuk gangguan yang dapat diramal selalu mungkin dibuat kompensator di dalam sistem sehingga tidak memerlukan pengukuran.

Sistem kontrol berumpan-balik adalah sistem kontrol yang cenderung menjaga hubungan yang telah ditentukan antara keluaran dan masukan acuan dengan membandingkannya dan menggunakan selisihnya sebagai alat pengontrolan. Perhatikan bahwa sistem kontrol berumpan-balik tidak terbatas hanya pada bidang teknik, tetapi dapat dijumpai pada berbagai bidang non-teknik seperti ekonomi dan biologi. Sebagai contoh, organisme manusia, pada satu segi, mirip dengan "*Plant*" kimia yang kompleks dengan bermacam-macam unit operasi. Pengontrolan proses dari jaringan transportasi dan reaksi kimia ini memerlukan beberapa loop pengontrolan. Sesungguhnya, organisme manusia adalah sebuah sistem kontrol berumpan-balik yang sangat kompleks.

Servomecanisme adalah sistem kontrol berumpan-balik dengan keluaran berupa posisi, kecepatan, atau percepatan mekanik. Oleh karena itu, istilah *servomekanisme* dan

sistem pengontrolan posisi (kecepatan atau percepatan) adalah sinonim. *Servomecanisme* banyak digunakan dalam industri modern. Sebagai contoh, operasi mesin perkakas yang seluruhnya otomatis, bersama-sama dengan instruksi yang telah diprogram terlebih dahulu, dapat dibuat dengan menggunakan *servomekanisme*.

Sistem regulator otomatis adalah sistem kontrol berumpan-balik dengan masukan acuan atau keluaran yang diinginkan konstan atau berubah terhadap waktu dengan lambat dan tugas utamanya adalah menjaga keluaran yang sebenarnya pada harga yang diinginkan, terhadap adanya gangguan.

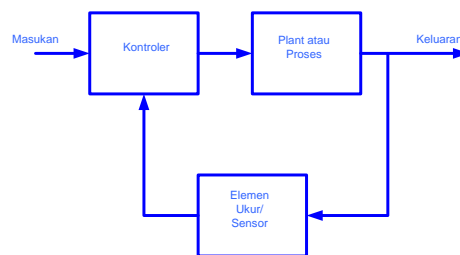
Sistem kontrol PLTMh dengan Digital Load Controller (DLC) sebagai kontrolernya adalah sebuah contoh sistem regulator otomatis. Pada sistem ini, (pengaturan frekuensi dan atau tegangan)dibandingkan dengan frekuensi atau tegangan sebenarnya pada jala-jala PLN. Perubahan beban dan debit air adalah gangguan pada sistem ini. Sasarannya adalah menjaga tegangan dan frekuensi generator diinginkan meskipun merubah beban tambahan. Ada beberapa contoh lain dari sistem regulator otomatis, beberapa di antaranya adalah pengontrolan otomatis dari tekanan dan temperatur.

Mikrohidro, adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 kW-1 MW per Unit. Syarat dasar dari pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah adanya air mengalir dan beda ketinggian.

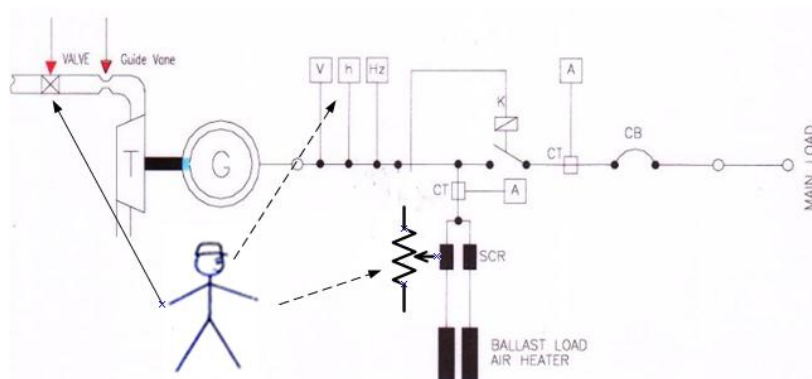
Sistem Pengontrolan Proses (process control system). Sistem regulator otomatis dengan keluaran berupa besaran seperti temperatur, tekanan, aliran, tinggi muka cairan atau pH disebut sistem pengontrolan proses. Pengontrolan proses secara luas digunakan di industri. Pengontrolan dengan program seperti pengontrolan temperatur tungku pemanas di mana temperatur tungku dikontrol sesuai dengan instruksi yang telah diprogram terlebih dahulu seringkali digunakan pada sistem seperti itu. Sebagai contoh, program yang harus disetel terlebih dahulu dapat berupa instruksi untuk menaikkan temperatur tungku sampai harga tertentu selama selang waktu tertentu kemudian menurunkan temperatur tungku sampai harga tertentu yang lain selama selang waktu tertentu. Pada pengontrolan dengan program seperti itu, titik setel diubah sesuai dengan jadwal waktu yang telah ditentukan. Kontroler (pengontrol) kemudian berfungsi untuk menjaga temperatur tungku agar mendekati titik setel yang berubah. Harus

diperhatikan bahwa sebagian besar sistem pengontrolan proses meliputi servomekanisme sebagai bagian yang terpadu.

Sistem kontrol loop tertutup (closed-loop control sistem). Sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi, sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol berumpan-balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan-balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah "loop tertutup" berarti menggunakan aksi umpan-balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan masukan-keluaran dari sistem kontrol loop tertutup.



Gambar 2. 2 Sistem kontrol loop tertutup



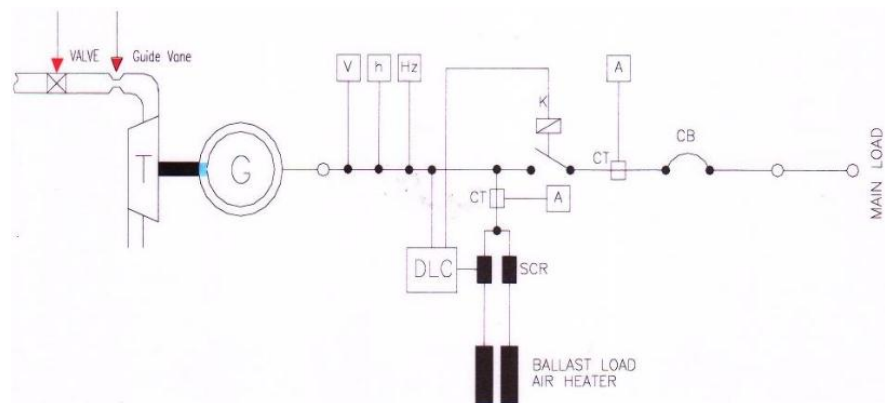
Gambar 2. 3 Kontrol manusia berumpan-balik dengan sebuah sistem mikrohidro

Gambar 2.2 disebut diagram blok (*block diagram*). Untuk melukiskan konsep sistem kontrol loop tertutup, perhatikan sistem kontrol PLTMh yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Di sini manusia bekerja sebagai kontroler. Ia ingin menjaga frekuensi dan

tegangan pada harga tertentu. Untuk generator sinkron, frekuensi berbanding lurus dengan tegangan, sedangkan untuk generator asinkron kadang terjadi perbedaan antara tegangan dan frekuensi. Volt meter dan frekuensi meter yang dipasang pada generator keluaran mengukur tegangan dan frekuensi yang sebenarnya. Tegangan dan frekuensi ini adalah keluaran sistem. Jika operator membaca penunjukan tegangan dan mendapatkan bahwa tegangan atau frekuensi lebih tinggi daripada harga yang diinginkan, maka ia akan memperbesar pembuangan daya pada beban *ballast* (kontrol beban elektronik) atau menurunkan bukaan *valve* pada masukan air (kontrol aliran air) untuk menurunkan tegangan dan frekuensi ini. Ada kemungkinan bahwa tegangan menjadi terlalu rendah sehingga perlu mengulangi rangkaian operasi di atas pada arah yang sebaliknya.

Aksi kontrol ini didasarkan pada operasi loop tertutup. Karena balikan dari keluaran (temperatur air) untuk perbandingan dengan masukan acuan dan aksi pengontrolan terjadi melalui aksi operator, maka sistem ini disebut sistem kontrol loop tertutup. Sistem semacam ini dapat disebut sistem kontrol manual berumpan-balik (*manual feedback control*) atau sistem kontrol manual loop tertutup (*manual closed loop control*). Jika kontroler otomatis digunakan untuk menggantikan operator manusia seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sistem kontrol tersebut menjadi otomatis, yang biasa disebut sistem kontrol otomatis berumpan-balik atau sistem kontrol otomatis loop tertutup. Posisi penunjuk pada kontroler otomatis menyetel frekuensi atau tegangan yang diinginkan. Keluaran frekuensi yang sebenarnya, yang diukur dengan alat ukur frekuensi, dibandingkan dengan frekuensi yang diinginkan untuk membangkitkan sinyal kesalahan penggerak.

Untuk maksud ini, frekuensi keluaran diubah menjadi satuan yang sama dengan masukan (titik setel) dengan menggunakan *transducer*. (*Transducer* adalah suatu peralatan yang merubah suatu sinyal dari satu bentuk menjadi bentuk lain). Sinyal kesalahan yang dihasilkan oleh kontroler otomatis diperkuat, dan keluaran kontroler dikirim ke katup pengontrol untuk merubah bukaan katup dalam mencatu uap untuk koreksi frekuensi sebenarnya. Jika tidak ada kesalahan, maka tidak diperlukan perubahan bukaan katup.

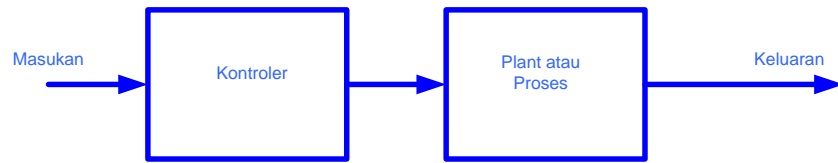


Gambar 2. 4 Kontrol otomatis berumpan-balik pada suatu sistem mikrohidro

Pada sistem yang ditinjau di sini, perubahan beban utama, debit air masukan, dan sebagainya, dapat dipandang sebagai gangguan *eksternal*. Sistem kontrol manual berumpan-balik dan sistem kontrol otomatis berumpan-balik tersebut di atas bekerja dengan cara yang sama. Mata operator dianalogikan dengan alat ukur kesalahan; otaknya dianalogikan dengan kontroler otomatis; dan otot-ototnya dianalogikan dengan aktuator.

Pengontrolan sistem yang kompleks dengan operator manusia adalah tidak efektif karena terdapat beberapa hubungan timbal-balik antara beberapa variabel. Perhatikan bahwa dalam sistem yang sederhana pun kontroler otomatis akan menghilangkan setiap kesalahan operasi yang disebabkan oleh manusia. Jika diperlukan pengontrolan presisi tinggi, pengontrolan harus otomatis.

Sistem kontrol loop terbuka (*open-loop control system*). Sistem kontrol loop terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol loop terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan-balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.5 menunjukkan hubungan masukan keluaran untuk sistem kontrol loop terbuka. Sebuah contoh praktis adalah mesin cuci. Perendaman, pencucian dan pembilasan pada mesin cuci dioperasikan pada basis waktu. Mesin ini tidak mengukur sinyal keluaran, misalnya kebersihan pakaian.



Gambar 2. 5 Sistem kontrol loop terbuka

Pada setiap sistem kontrol loop terbuka keluaran tidak dibandingkan dengan masukan acuan, sehingga untuk setiap masukan acuan, terdapat suatu kondisi operasi yang tetap. Jadi, ketelitian sistem bergantung pada kalibrasi. (Sistem kontrol loop terbuka harus dikalibrasi dengan hati-hati dan harus menjaga kalibrasi tersebut agar dapat dimanfaatkan dengan baik). Dengan adanya gangguan, sistem kontrol loop terbuka tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan. Kontrol loop terbuka dapat digunakan dalam praktek hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan jika tidak terdapat gangguan *internal* maupun *eksternal*. Jelaslah bahwa sistem semacam ini bukan sistem kontrol berumpan-balik. Perhatikan bahwa setiap sistem kontrol yang bekerja pada basis waktu adalah loop terbuka. Sebagai contoh, pengendalian lalu-lintas dengan sinyal yang dioperasikan pada basis waktu adalah contoh lain dari kontrol loop terbuka. Perbandingan antara sistem kontrol loop terbuka dengan loop tertutup. Suatu kelebihan dari sistem kontrol loop tertutup adalah penggunaan umpan-balik yang membuat respon sistem relatif kurang peka terhadap gangguan *eksternal* dan perubahan *internal* pada parameter sistem. Jadi mungkin dapat digunakan komponen-komponen yang relatif kurang teliti dan murah untuk mendapatkan pengendalian "Plant" dengan teliti; hal ini tidak mungkin diperoleh pada sistem loop terbuka.

Dari segi kestabilan, sistem kontrol loop terbuka lebih mudah dibuat karena kestabilan bukan merupakan persoalan utama. Sebaliknya, kestabilan selalu merupakan persoalan utama pada sistem kontrol loop tertutup karena cenderung terjadi kesalahan akibat koreksi berlebih yang dapat menimbulkan osilasi pada amplitudo konstan ataupun berubah. Harus ditekankan bahwa untuk sistem dengan masukan yang telah diketahui sebelumnya dan tidak ada gangguan, maka disarankan untuk menggunakan kontrol loop terbuka. Sistem kontrol loop tertutup mempunyai kelebihan hanya jika terdapat gangguan yang tidak dapat diramal dan/atau perubahan yang tidak dapat diramal pada komponen sistem.

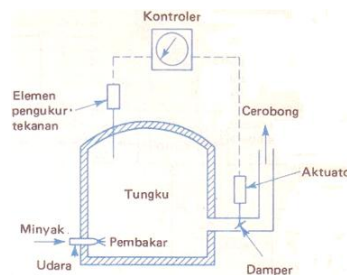
Sistem Kontrol Adaptif. Karakteristik dinamik dari sebagian besar sistem kontrol adalah tidak konstan karena beberapa sebab, seperti memburuknya performansi komponen dengan penambahan waktu atau perubahan parameter dan sekeliling (sebagai contoh, perubahan massa dan kondisi atmosfer pada sistem kontrol pesawat ruang angkasa). Walaupun pengaruh perubahan-perubahan kecil pada karakteristik dinamik diredam pada sistem kontrol berumpan-balik, jika perubahan parameter sistem dan sekeliling cukup besar maka suatu sistem yang baik harus mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan diri (adaptasi). Adaptasi berarti kemampuan untuk mengatur diri atau memodifikasi diri sesuai dengan perubahan pada kondisi sekeliling atau struktur yang tidak dapat diramal. Sistem kontrol yang mempunyai suatu kemampuan beradaptasi dalam keadaan bebas disebut sistem kontrol *adaptif*. Pada sistem kontrol adaptif, karakteristik dinamik harus diidentifikasi setiap saat sehingga parameter kontroler dapat diatur untuk menjaga performansi optimal. Konsep ini menarik banyak perhatian desainer sistem karena sistem kontrol adaptif, di samping mengikuti perubahan sekeliling, juga akan menyesuaikan kesalahan-kesalahan atau ketidakpastian desain teknik yang layak dan akan mengkompensasi kerusakan sebagian kecil komponen-komponen sistem sehingga memperbesar keandalan sistem keseluruhan.

Sistem Kontrol dengan Penalaran. Beberapa sistem kontrol loop terbuka yang sering dijumpai dapat diubah menjadi sistem kontrol loop tertutup, jika operator manusia dipandang sebagai kontroler, membandingkan masukan dan keluaran kemudian melakukan aksi koreksi yang berdasarkan pada selisih atau kesalahan yang diperoleh. Jika Anda berusaha menganalisis sistem kontrol loop tertutup yang melibatkan operator manusia semacam itu, Anda akan menjumpai persoalan yang sulit dalam menuliskan persamaan yang menggambarkan perilaku manusia. Salah satu dari beberapa faktor yang kompleks dalam kasus ini adalah kemampuan penalaran dari operator manusia. Jika operator mempunyai banyak pengalaman, ia akan menjadi kontroler yang lebih baik, dan hal ini harus diperhitungkan dalam menganalisis sistem semacam itu. Sistem kontrol yang mempunyai kemampuan untuk menalar disebut sistem kontrol dengan penalaran (*learning control system*). Konsep ini masih cukup baru dan sudah mulai

banyak diselidiki. Perkembangan baru dalam penerapan kontrol adaptif dan kontrol dengan penalaran telah dilaporkan dalam literatur, tetapi masih banyak kegiatan teknik yang dipersiapkan untuk studi di masa mendatang.

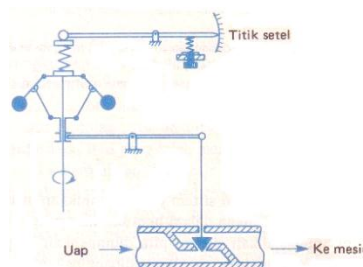
Contoh-contoh Ilustrasi Sistem Kontrol

Pada bagian ini Kita akan menyajikan beberapa contoh ilustrasi sistem kontrol loop tertutup. Sistem Pengontrol Tekanan, Gambar 2.6 menunjukkan suatu sistem pengontrolan tekanan. Tekanan dalam tungku dikontrol berdasarkan posisi "*damper*". Tekanan ini diukur dengan elemen pengukur tekanan. Jadi, sinyal yang diperoleh diumpankan ke kontroler untuk dibandingkan dengan harga yang diinginkan. Jika terdapat perbedaan atau kesalahan, keluaran kontroler diumpankan ke aktuator yang mengatur posisi *damper* untuk memperkecil kesalahan.



Gambar 2. 6 Sistem pengontrolan tekanan

Sistem pengontrol kecepatan prinsip dasar dari Governor Watt untuk mesin uap dilukiskan dengan diagram skematik pada Gambar 2.7. Besarnya laju aliran uap yang masuk ke silinder mesin diatur sesuai dengan selisih antara kecepatan mesin yang diinginkan dan kecepatan mesin yang sebenarnya.

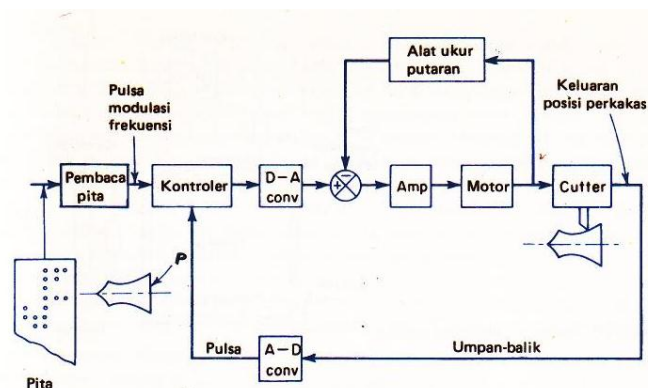


Gambar 2. 7 Sistem pengontrolan kecepatan

Urutan dari aksi pengontrolan dapat dinyatakan sebagai berikut. Masukan acuan (titik setel) disetel sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Jika kecepatan yang sebenarnya

turun di bawah harga yang diinginkan, maka gaya sentrifugal dari governor kecepatan mengecil, menyebabkan katup pengontrol bergerak ke atas, mencatu uap yang lebih banyak sehingga kecepatan mesin membesar sampai dicapai harga yang diinginkan. Sebaliknya, jika kecepatan mesin melebihi harga yang diinginkan, maka gaya sentrifugal dari governor kecepatan membesar, menyebabkan katup pengontrol bergerak ke bawah. Hal ini akan memperkecil catu uap sehingga kecepatan mesin mengecil sampai dicapai harga yang diinginkan.

Sistim Kontrol Numerik, Kontrol numerik adalah suatu metoda pengontrolan gerak dari komponen mesin dengan menggunakan angka-angka. Pada kontrol numerik, gerak benda kerja dapat dikontrol dengan informasi biner yang disimpan pada sebuah pita. Pada sistem kontrol semacam itu, harga-harga numerik simbolik diubah menjadi harga fisis (dimensi atau besaran) oleh sinyal listrik (atau yang lain) kemudian diterjemahkan menjadi pergerakan linier atau sirkuler. Sinyal ini dapat berupa sinyal digital (pulsa) atau analog (tegangan yang berubah terhadap waktu).



Gambar 2. 8 Kontrol numerik pada sebuah mesin

Prinsip kerja dari sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 adalah sebagai berikut. Sebuah pita disiapkan dalam bentuk biner yang menyatakan bagian P yang diinginkan. Untuk menjalankan sistem, pita diumpankan ke pembaca pita. Sinyal masukan yang berupa pulsa modulasi frekuensi dibandingkan dengan sinyal pulsa balikan (*feedback*). Pengubah sinyal digital menjadi analog mengubah pulsa-pulsa tersebut menjadi sinyal analog dengan besar tegangan tertentu yang kemudian memutar motor servo. Posisi pemotong (pahat) dikontrol sesuai dengan masukan motor servo. *Transducer* yang dipasang pada pemotong mengubah gerakan menjadi sinyal listrik yang kemudian

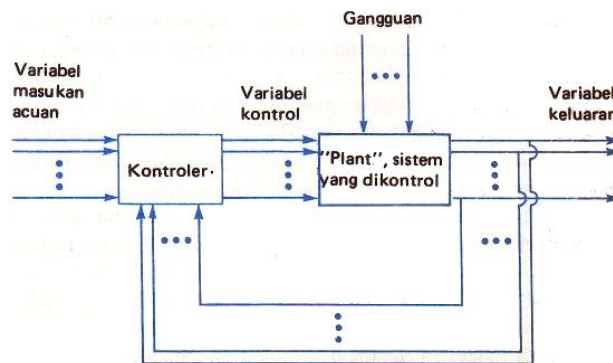
diubah menjadi pulsa-pulsa oleh pengubah sinyal analog menjadi digital. Sinyal ini kemudian dibandingkan dengan sinyal pulsa masukan. Kontroler melakukan operasi matematik untuk menghitung selisih antara sinyal-sinyal pulsa tersebut. Jika ada, maka suatu sinyal dikirimkan ke motor servo untuk memperkecil selisih tersebut. Suatu kelebihan dari kontrol numerik adalah dapat diproduksinya bagian-bagian mesin yang kompleks dengan toleransi yang merata pada kecepatan pengerjaan maksimum.

Prinsip-Prinsip Desain Sistem Kontrol

Persyaratan umum sistem kontrol. Setiap sistem kontrol harus stabil. Ini merupakan persyaratan utama. Di samping kestabilan mutlak, suatu sistem kontrol harus mempunyai kestabilan relatif yang layak; jadi, kecepatan respon harus cukup cepat dan menunjukkan peredaman yang layak. Suatu sistem kontrol juga harus mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu harga yang dapat ditoleransi. Setiap sistem kontrol yang berguna harus memenuhi persyaratan ini.

Persyaratan kestabilan relatif yang layak dan ketelitian keadaan tunak (*steady state*) cenderung tidak dapat dipenuhi secara bersama-sama. Oleh karena itu dalam mendesain sistem kontrol, Kita perlu melakukan kompromi yang paling efektif di antara dua persyaratan ini.

Persoalan dasar dalam desain sistem kontrol. Gambar 2.9 adaiah diagram blok suatu sistem kontrol. Kontroler menghasilkan sinyal kontrol yang didasarkan pada variabel masukan acuan dan variabel keluaran. Pada kondisi praktis, selalu ada beberapa gangguan yang bekerja pada "*Plant*". Gangguan ini mungkin berasal dari luar atau dari dalam.



Gambar 2. 9 Diagram blok suatu sistem kontrol

mungkin bersifat acak, mungkin pula dapat diramalkan. Kontroler harus memperhitungkan setiap gangguan yang akan mempengaruhi variabel keluaran.

Untuk menentukan sistem kontrol optimal, perlu didefinisikan indeks performansi. Indeks ini merupakan ukuran kuantitatif dari performansi yang merupakan ukuran deviasi dari performansi ideal. Spesifikasi sinyal kontrol diseluruh waktu operasi disebut hukum kontrol. Secara matematis, persoalan dasar kontrol adalah menentukan hukum kontrol optimal, dengan berbagai kendala teknik dan ekonomi, yang berarti meminimumkan indeks performansi yang diberikan.

Untuk sistem yang relatif sederhana, hukum kontrol dapat diperoleh secara analitis. Untuk sistem yang kompleks, mungkin memerlukan komputer digital yang dipasang langsung pada sistem untuk mendapatkan hukum kontrol optimal.

Analisis. Yang dimaksud analisis sistem kontrol adalah penelitian, pada kondisi tertentu, performansi sistem yang model matematiknya diketahui. Karena setiap sistem tersusun dari komponen, maka analisis harus dimulai dari deskripsi matematik tiap komponen. Setelah model matematik keseluruhan sistem diturunkan, cara analisis yang digunakan tidak bergantung pada sistem fisiknya, pneumatik, listrik, mekanik, atau yang lain.

Desain. Yang dimaksud dengan desain suatu sistem adalah mencari suatu sistem yang dapat menyelesaikan tugas yang diberikan. Pada umumnya, prosedur desain tidak diperoleh secara langsung tetapi memerlukan metodacoba-coba.

Sintesis. Yang dimaksud dengan sintesis adalah mencari suatu sistem dengan prosedur langsung yang akan bekerja menurut cara tertentu. Biasanya, prosedur semacam ini

bersifat matematis dari awal sampai akhir proses desain. Pada saat ini telah tersedia banyak prosedur sintesis untuk rangkaian linier dan untuk sistem linier optimal.

Pendekatan dasar dalam desain sistem kontrol. Pendekatan dasar dalam desain setiap sistem kontrol praktis perlu melibatkan metoda coba-coba. Sintesis sistem kontrol linier secara teoritis dapat dilakukan, dan secara sistematis teknisi kontrol dapat menentukan komponen-komponen yang diperlukan untuk mencapai sasaran yang diberikan. Meskipun demikian, dalam praktek, mungkin sistem dibatasi oleh beberapa kendala atau sifat non-linier; dalam kasus semacam ini belum ada metoda sintesisnya. Di samping itu, karakteristik komponen mungkin tidak dapat diketahui dengan tepat. Jadi selalu diperlukan prosedur coba-coba.

Kondisi yang sering dijumpai dalam praktek adalah diberikan suatu "*Plant*", kemudian teknisi kontrol harus mendesain sisa dari sistem, sehingga secara keseluruhan memenuhi spesifikasi dan dapat menyelesaikan tugas yang diberikan. Perhatikan bahwa spesifikasi tersebut harus diinterpretasikan dalam bentuk matematik. Penting untuk diingat bahwa beberapa dari spesifikasi tersebut adalah tidak realistik. Pada kasus seperti ini, spesifikasi tersebut harus diperbaharui pada tingkat awal desain. Dalam beberapa kasus, desain suatu sistem kontrol berlangsung sebagai berikut : Desainer kontrol memulai prosedur desain dengan mengetahui spesifikasi atau indeks performansi, dinamika "*Plant*" yang diberikan, dan dinamika komponen; yang terakhir melibatkan parameter desain. Teknisi kontrol tersebut akan menggunakan prosedur sintesis, jika ada, bersama-sama dengan teknik yang lain, untuk membuat model matematik sistem.

Setelah ia merumuskan persoalan desain dalam bentuk model ini, kemudian melakukan desain matematik yang menghasilkan jawab dalam versi matematik dari persoalan desain. Pada tingkat ini, simulasi model matematik pada komputer adalah penting (MATLAB Simulink salah satu software yang dapat digunakan dalam simulasi) . Perhatikan bahwa teori kontrol optimal sangat berguna pada tingkat desain ini karena akan memberikan batas atas performansi sistem untuk suatu indeks performansi yang diberikan).

Setelah desain matematik dapat diselesaikan, desainer kontrol mensimulasikan model pada komputer untuk menguji perilaku sistem yang diperoleh dalam bentuk respon terhadap berbagai sinyal dan gangguan. Biasanya, konfigurasi sistem hasil desain awal belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Oleh karena itu sistem ini harus didesain ulang berdasarkan informasi hasil analisis yang telah dilakukan. Proses desain dan analisis ini diulang sampai diperoleh sistem yang memuaskan. Selanjutnya, dari hasil simulasi pada komputer dapat dibuat sistem fisik *prototipe*.

Perhatikan bahwa proses pembuatan *prototipe* ini adalah kebalikan dengan pemodelan. *Prototipe* adalah suatu sistem fisik yang merupakan realisasi model matematik dengan ketelitian yang layak. Setelah pembuatan *prototipe* selesai, kemudian teknisi kontrol mengujinya untuk melihat perilaku *prototipe* tersebut, sudah memuaskan atau belum. Jika sudah, berarti proses desain telah selesai. Jika belum, maka *prototipe* tersebut harus dimodifikasi dan diuji lagi. Proses ini berlangsung sampai *prototipe* benar-benar memuaskan.

Teori kontrol modern mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan teori kontrol klasik. Teori ini memungkinkan teknisi kontrol untuk memperhitungkan syarat awal sembarang dalam sintesis sistem kontrol optimal. Dalam sintesis ini, kita hanya memerlukan peninjauan aspek analitik persoalan. Sebuah komputer digital dapat diprogram untuk melakukan perhitungan-perhitungan numerik yang diperlukan. Ini merupakan salah satu kelebihan dasar teori kontrol modern.

Penting untuk diperhatikan bahwa teori kontrol modern sama sekali tidak menggantikan kontrol klasik. Kedua pendekatan tersebut saling melengkapi. Teknik kontrol modern didasarkan pada aspek-aspek yang berguna baik dari teori kontrol klasik maupun teori kontrol modern. Maksud buku ini adalah untuk memberikan latar belakang yang baik dan penggunaan perkakas teknik kontrol modern kepada pembaca.

Diagram Blok Sistem Kontrol



Gambar 2. 10 Elemen diagram blok

Diagram blok. Diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya. Diagram semacam ini melukiskan hubungan timbal-balik yang ada antara berbagai komponen. Berbeda dengan penyajian matematik yang abstrak belaka, diagram blok mempunyai keunggulan dalam menunjukkan aliran sinyal yang lebih nyata pada sistem yang sebenarnya.

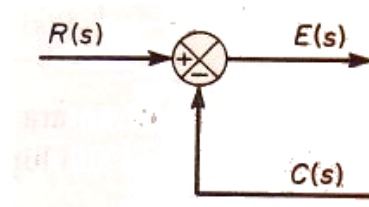
Dalam suatu diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. "Blok fungsional" atau biasa disebut "blok" adalah suatu simbol operasi matematik pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran. Fungsi alih dari komponen biasanya ditulis di dalam blok, yang dihubungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal. Perhatikan bahwa sinyal hanya dapat mengalir pada arah yang ditunjukkan oleh anak panah. Jadi, diagram blok suatu sistem kontrol secara eksplisit menunjukkan suatu sifat searah. Gambar 2.10 menunjukkan suatu elemen diagram blok. Anak panah yang menuju ke blok menunjukkan masukan dan anak panah yang meninggalkan blok menyatakan keluaran. Anak panah semacam itu dianggap sebagai sinyal.

Perhatikan bahwa dimensi sinyal keluaran dari blok sama dengan dimensi sinyal masukan dikalikan dengan dimensi fungsi alih dalam blok. Keunggulan penyajian diagram blok suatu sistem terletak pada kenyataan bahwa mudah untuk membentuk diagram blok keseluruhan sistem hanya dengan menghubungkan blok-blok komponen sesuai dengan aliran sinyal dan memungkinkan perhitungan kontribusi tiap komponen pada performansi keseluruhan sistem.

Pada umumnya, operasi fungsional dari sistem dapat divisualisasikan secara lebih cepat dengan menguji diagram bloknya daripada dengan menguji sistem fisiknya. Diagram blok mengandung informasi perilaku dinamik, tetapi tidak mengandung

informasi mengenai konstruksi fisik dari sistem. Oleh karena itu, beberapa sistem yang berbeda dan tidak mempunyai relasi satu sama lain dapat dinyatakan dengan diagram blok yang sama. Harus diperhatikan bahwa dalam suatu diagram blok sumber energi utamanya tidak ditunjukkan secara eksplisit, dan juga bahwa diagram blok suatu sistem adalah tidak unik. Suatu sistem dapat digambarkan dengan beberapa diagram blok yang berbeda, bergantung pada titik pandang analisis.

Detektor kesalahan. Detektor kesalahan menghasilkan suatu sinyal yang merupakan selisih antara sinyal masukan acuan dengan sinyal umpan-balik dari sistem kontrol. Dalam desain, pemilihan detektor kesalahan adalah cukup penting dan harus diputuskan dengan hati-hati. Hal ini disebabkan oleh setiap adanya ketidaksempurnaan detektor kesalahan yang tanpa dapat dihindari akan mempengaruhi performansi sistem keseluruhan. Penyajian diagram blok dari detektor kesalahan ditunjukkan pada Gambar 2.11. Perhatikan bahwa lingkaran dengan tanda silang adalah simbol yang menunjukkan suatu operasi penjumlahan. Tanda positif atau negatif pada setiap anak panah menunjukkan operasi yang harus dikenakan pada sinyal tersebut, ditambahkan atau dikurangi. Perhatikan bahwa besaran-besaran yang ditambahkan atau dikurangi mempunyai dimensi dan satuan yang sama.



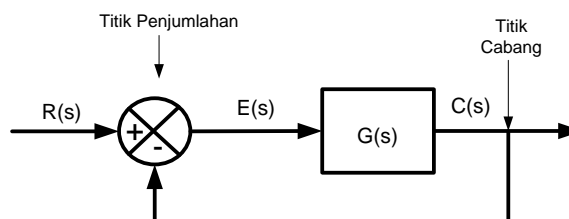
Gambar 2. 11 Diagram blok suatu detektor kesalahan

Diagram blok sistem loop tertutup. Gambar 2.12 menunjukkan suatu contoh diagram blok sistem loop tertutup. Keluaran $C(s)$ diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan $R(s)$. Sifat loop tertutup dari sistem secara jelas ditunjukkan pada gambar tersebut. Keluaran blok, $C(s)$ dalam hal ini, diperoleh dengan mengalikan fungsi alih $G(s)$ dengan masukan blok, $E(s)$.

Setiap sistem kontrol linier dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan, dan titik cabang. Titik cabang adalah titik tempat sinyal keluaran blok secara bersamaan menuju ke blok lain atau titik

penjumlahan. Jika keluaran diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan, maka perlu mengubah bentuk sinyal keluaran agar sama dengan bentuk sinyal masukan. Sebagai contoh, dalam suatu sistem pengontrolan temperatur, sinyal keluarannya biasanya adalah temperatur yang dikontrol. Sinyal keluaran tersebut, yang mempunyai dimensi temperatur, harus diubah menjadi suatu gaya atau posisi, sebelum dibandingkan dengan sinyal masukan. Pengubahan ini dilakukan oleh elemen umpan-balik yang mempunyai fungsi alih $H(s)$, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Peranan penting lainnya dari elemen umpan-balik adalah memodifikasi keluaran sebelum dibandingkan dengan masukan. Pada contoh ini, sinyal umpan-balik yang diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan adalah $B(s) = H(s)C(s)$.

Diagram blok sistem loop tertutup. Gambar 2.11 menunjukkan suatu contoh diagram blok sistem loop tertutup. Keluaran $C(s)$ diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan $R(s)$. Sifat loop tertutup dari sistem secara jelas ditunjukkan pada gambar tersebut. Keluaran blok, $C(s)$ dalam hal ini, diperoleh dengan mengalikan fungsi alih $G(s)$ dengan masukan blok, $E(s)$.

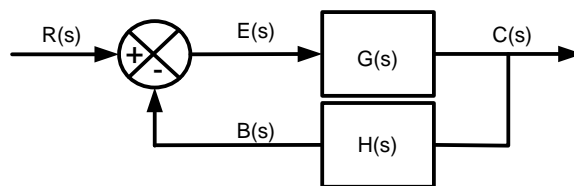


Gambar 2. 12 Diagram blok sistem loop tertutup

Setiap sistem kontrol linier dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan, dan titik cabang. Titik cabang adalah titik, tempat sinyal keluaran blok secara bersamaan menuju ke blok lain atau titik penjumlahan. Jika keluaran diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan, maka perlu mengubah bentuk sinyal keluaran agar sama dengan bentuk sinyal masukan. Sebagai contoh, dalam suatu sistem pengontrolan temperatur, sinyal keluarannya biasanya adalah temperatur yang

dikontrol. Sinyal keluaran tersebut, yang mempunyai dimensi temperatur, harus diubah menjadi suatu gaya atau posisi, sebelum dibandingkan dengan sinyal masukan.

Pengubahan ini dilakukan oleh elemen umpan-balik yang mempunyai fungsi alih $H(s)$, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Peranan penting lainnya dari elemen umpan-balik adalah memodifikasi keluaran sebelum dibandingkan dengan masukan. Pada contoh ini, sinyal umpan-balik yang diumpan-balikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan adalah $B(s) = H(s)C(s)$.



Gambar 2. 13 Sistem loop tertutup

Perbandingan antara sinyal umpan-balik $B(s)$ dengan sinyal kesalahan penggerak $E(s)$ disebut fungsi alih loop terbuka. Jadi

$$\text{Fungsi alih loop terbuka} = \frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s)$$

Perbandingan antara keluaran $C(s)$ dengan sinyal kesalahan penggerak $E(s)$ disebut fungsi alih umpan maju, sehingga

$$\text{Fungsi alih umpan maju} = \frac{C(s)}{E(s)} = G(s)$$

Jika fungsi alih elemen umpan-balik adalah satu, maka fungsi alih loop terbuka dan fungsi alih umpan maju adalah sama. Untuk sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, keluaran $C(s)$ dan masukan $R(s)$ direlasikan sebagai berikut:

$$C(s) = G(s)E(s)$$

$$E(s) = R(s) - B(s)$$

$$E(s) = R(s) - H(s)C(s)$$

Eliminasi $E(s)$ dari persamaan-persamaan ini memberikan

$$C(s) = G(s)R(s) - H(s)C(s)$$

Atau

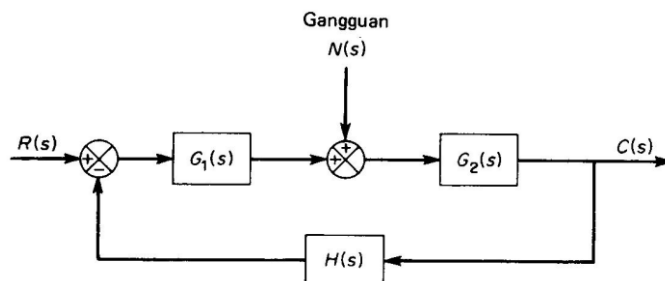
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Fungsi alih yang merelasikan $C(s)$ dengan $R(s)$ disebut fungsi alih loop tertutup. Fungsi alih ini merelasikan dinamika sistem loop tertutup dengan dinamika elemen umpan maju dan elemen umpan balik.

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \cdot R(s)$$

Jadi jelas bahwa keluaran sistem loop tertutup bergantung pada fungsi alih loop tertutup dan sifat dari masukan.

Pengaruh gangguan pada sistem loop tertutup. Gambar 2.14 menunjukkan suatu sistem loop tertutup yang mengalami suatu gangguan. Jika pada suatu sistem linier terdapat dua masukan (masukan acuan dan gangguan), maka masing-masing masukan dapat diperhitungkan secara bebas terhadap yang lain; dan keluaran lengkapnya diperoleh dengan menjumlahkan keluaran yang disebabkan oleh masing-masing masukan. Cara tiap masukan dikenakan ke sistem ditunjukkan pada titik penjumlahan dengan tanda jumlah atau tanda kurang.



Gambar 2. 14 Sistem loop tertutup yang dikenai gangguan dari luar

Tinjau sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Dalam menguji pengaruh gangguan $N(s)$, Kita dapat menganggap bahwa sistem mula-mula diam dengan kesalahan nol; selanjutnya Anda dapat menghitung respon $C_N(s)$ hanya terhadap gangguan. Respon ini dapat diperoleh dari :

$$\frac{C_{N(s)}}{N(s)} = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

Respon terhadap penerapan serentak dari masukan acuan dan gangguan dapat diperoleh dengan menjumlahkan kedua respon tersebut. dengan kata lain, respon $C(s)$

terhadap penerapan serentak dari masukan acuan $R(s)$ dan gangguan $N(s)$ diberikan oleh:

$$C(s) = C_R(s) + C_N(s)$$

$$C(s) = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} [G_1(s)R(s) + N(s)]$$

Sekarang tinjau kasus untuk $|G_1(s)H(s)| \gg 1$ dan $|G_1(s)G_2(s)H(s)| \gg 1$. Pada kasus ini, fungsi alih loop tertutup $C_N(s)/N(s)$ mendekati nol, dan pengaruh gangguan ditekan. Ini merupakan keunggulan sistem loop tertutup.

Prosedur penggambaran diagram blok. Untuk menggambar diagram blok suatu sistem, pertamakali tulis persamaan yang menggambarkan perilaku dinamik tiap komponen, kemudian ubahlah persamaan ini ke dalam transformasi *Laplace*-nya dengan menganggap semua syarat awal nol, dan sajikan masing-masing persamaan dalam bentuk transformasi *Laplace* ini dalam suatu blok. Akhirnya, rangkailah elemen-elemen ini menjadi suatu diagram blok lengkap.

Sebagai suatu contoh, tinjau rangkaian *RC* yang ditunjukkan pada Gambar 2.15(a). Persamaan untuk rangkaian ini adalah:

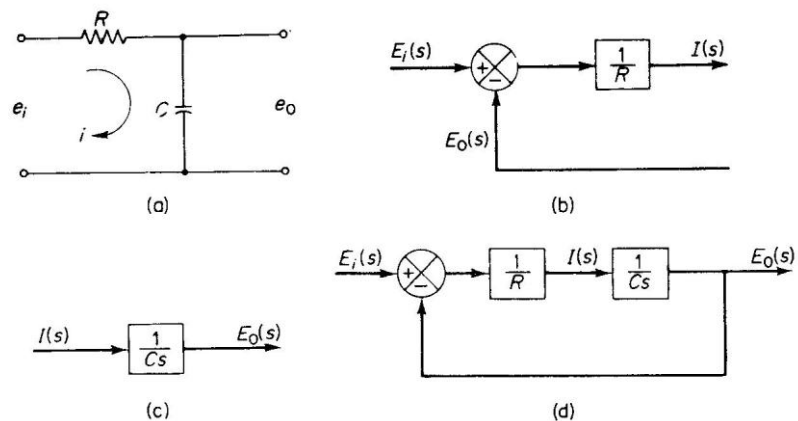
$$I = \frac{e_i - e_0}{R}$$

$$e_0 = \frac{\int i dt}{C}$$

Transformasi *Laplace* dari Persamaan di atas, dengan syarat awal nol, menjadi

$$I(s) = \frac{E(s) - E_0(s)}{R}$$

$$E_0(s) = \frac{I(s)}{Cs}$$



Gambar 2. 15 (a)Rangkaian RC; (b) Penyajian dalam diagram blok persamaan $I(s)$; (c)

Penyajian dalam diagram blok persamaan E_o (d) Diagram blok rangkaian RC.

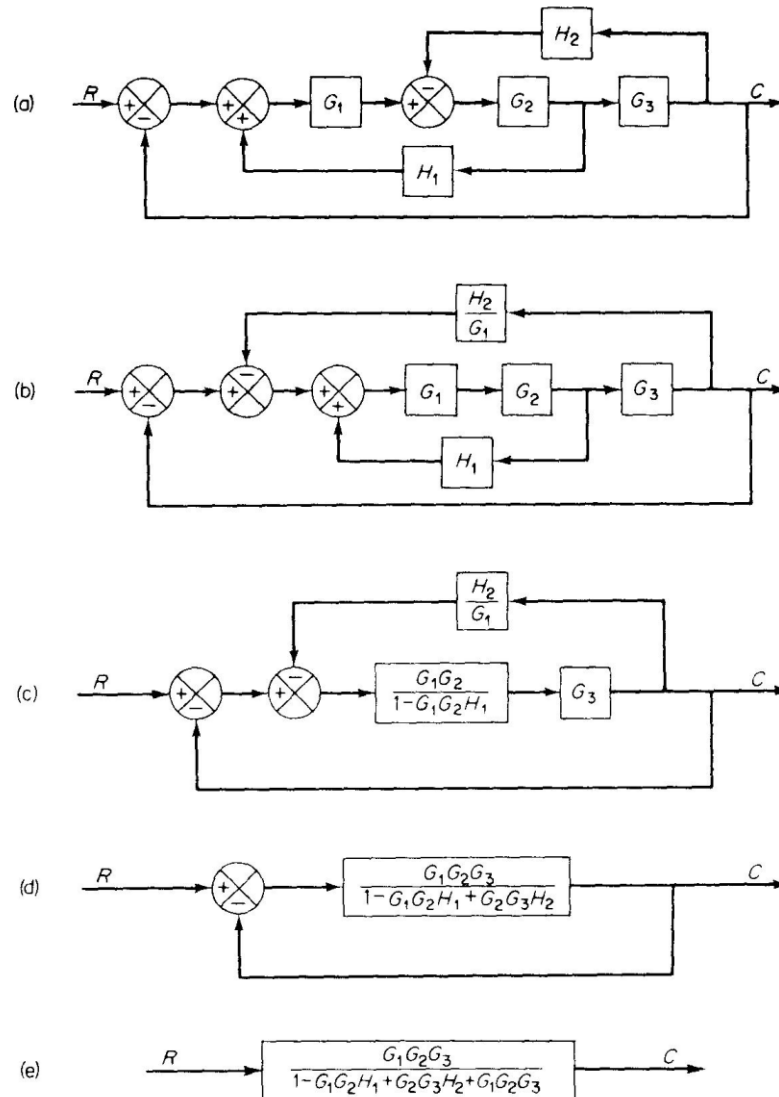
Persamaan $I(s)$ menyatakan operasi penjumlahan, sedangkan diagram bloknya ditunjukkan pada Gambar 2.15(b). Persamaan $E_o(s)$ dapat dinyatakan dengan blok seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15(c). Dengan merakit dua elemen ini, Anda peroleh diagram blok keseluruhan dari sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15(d).

Penyederhanaan diagram blok. Penting untuk diperhatikan bahwa blok-blok hanya dapat dihubungkan secara seri jika keluaran suatu blok tidak dipengaruhi oleh blok berikutnya. Jika ada pengaruh pembebanan antara komponen-komponen ini, maka perlu menggabungkan komponen-komponen ini menjadi satu blok. Sejumlah blok hubung seri dari komponen tanpa pembebanan dapat diganti dengan satu blok dengan fungsi alih sama dengan hasil kali masing-masing fungsi alih tiap komponen.

Diagram blok kompleks yang melibatkan beberapa loop berumpan-balik dapat disederhanakan dengan penyusunan kembali selangkah demi selangkah, dengan menggunakan aturan aljabar diagram blok. Beberapa aturan yang penting dari aljabar ini diberikan pada Tabel 1.1. Tabel ini diperoleh dengan menulis persamaan yang sama tetapi dengan cara yang berbeda. Penyederhanaan diagram blok dengan cara penyusunan kembali dan substitusi sangat meringankan tugas yang diperlukan untuk analisis matematik berikutnya. Akan tetapi, dengan memperhatikan bahwa diagram blok disederhanakan, blok yang baru menjadi lebih rumit dikarenakan pole baru dan zero disyaratkan.

Dalam menyederhanakan diagram blok, ingat hal-hal berikut:

1. Hasil kali fungsi alih pada arah umpan maju harus tetap sama
2. Hasil kali fungsi alih pada pengelilingan loop harus tetap sama.



Gambar 2. 16 (a) Sistem multi loop; (b)-(e) penyederhanaan berturutan dari diagram blok yang ditunjukkan pada (a).

Suatu aturan umum untuk menyederhanakan diagram blok adalah memindahkan titik cabang dan titik penjumlahan, saling menukar titik penjumlahan dan kemudian menyederhanakan loop umpan-balik di dalamnya. Sebagai contoh penggunaan aturan pada Tabel 1.1, tinjau sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2.16(a). Dengan memindahkan titik penjumlahan dari loop umpan-balik negatif yang mengandung H_2 ke

luar loop umpan-balik positif yang mengandung H_1 , Kita peroleh Gambar 2.16(b). Dengan eliminasi loop umpan-balik positif, kita peroleh Gambar 2.16(c). Kemudian dengan eliminasi loop yang mengandung H_2/G_1 , kita peroleh Gambar 2.16(d). Akhirnya dengan eliminasi loop umpan-balik, kita peroleh Gambar 2.16(e).

Perhatikan bahwa pembilang dari fungsi alih loop tertutup $C(s)/R(s)$ adalah hasil kali fungsi alih dari lintasan umpan maju. Penyebut dari $C(s)/R(s)$ adalah sama dengan

$$= 1 - \Sigma(\text{hasil kali fungsi alih dari lintasan masing-masing loop})$$

$$= 1 - (G_1 G_2 H_1 - G_2 G_3 H_2 - G_1 G_2 G_3)$$

$$= 1 - G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_1 G_2 G_3$$

Tabel 2. 1 Aturan aljabar diagram blok

No	Diagram Blok Asal	Diagram Blok Pengganti
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

8		
9		
10		
11		
12		
13		

Penurunan Fungsi Alih Sistem Fisik

Pada kenyataannya sistem kontrol dapat terdiri dari beberapa besaran-besaran fisik yang berbeda, seperti listrik, mekanik, hidraulik, pneumatik, atau termal. Anda disarankan harus mengenal hukum-hukum dasar dari komponen-komponen ini. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menurunkan fungsi alih sistem fisik adalah sebagai berikut :

1. Dalam mendekati sistem fisik dengan model parameter terkumpul linier, diperlukan beberapa anggapan tertentu. Pada umumnya, anggapan ini bergantung pada daerah kerja dari sistem. Anggapan-anggapan yang mungkin bagus untuk kondisi kerja tertentu mungkin tidak cocok untuk kondisi yang berbeda. Dalam praktek, membuat anggapan-anggapan yang tepat merupakan bagian analisis sistem yang sangat penting karena ketelitian hasil analisis bergantung pada berlakunya anggapan-anggapan semacam itu. Dalam hubungan ini insinyur kontrol harus menyadari bahwa walaupun fungsi alih yang diperoleh secara analitis dengan jelas

menunjukkan pengaruh umum dari variasi parameter sistem pada jawab persamaan, tetapi prediksi numerik yang diperoleh dari studi analitik sistem fisik mungkin tidak teliti. Dengan kata lain, walaupun karakteristik dari dinamika sistem dapat dilihat secara jelas dari fungsi alihnya, tetapi informasi kuantitatif yang teliti mungkin tidak diperlukan. Jika diperlukan ketelitian kuantitatif, maka disamping perlu dilakukan studi analitik juga diperlukan studi eksperimental.

2. Perlu dicek berlakunya fungsi alih dengan menganggap bahwa suatu parameter sistem mempunyai harga nol atau tak terhingga. Oleh karena hal ini akan menyederhanakan fungsi alih, maka berlakunya fungsi alih dapat dicek secara mudah.

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta di dalam kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Sistem Dasar Kontrol? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-2.1**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1 Mengamati Sistem Kontrol PLTMH

Amatilah sistem kontrol yang ada pada PLTMh!,

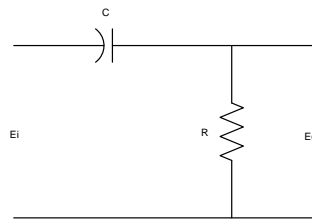
1. Buatlah diagram blok dari sistem kontrol tersebut!
2. Termasuk jenis sistem kontrol apa yang telah Anda amati tersebut?
3. Berikan penjelasan singkat dari hasil pengamatan tadi!

Aktivitas 2 Mengkonversi Diagram Blok

- Isilah tabel yang masih kosong pada kolom diagram blok pengganti berdasarkan aturan aljabar diagram blok.

No	Diagram Blok Awal	Diagram Blok Pengganti
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

2. Gambarkan diagram blok dari rangkaian CR di bawah ini!



E. Rangkuman

Plant adalah seperangkat peralatan, mungkin hanya terdiri dari beberapa bagian mesin yang bekerja bersama-sama, yang digunakan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Dalam buku ini, setiap obyek fisik yang dikontrol (seperti tungku pemanas, reaktor kimia, dan pesawat ruang angkasa) disebut *plant*.

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu. Sistem tidak dibatasi hanya untuk sistem fisik saja. Konsep sistem dapat digunakan pada gejala yang abstrak dan dinamis seperti yang dijumpai dalam ekonomi. Oleh karena itu istilah "sistem" harus diinterpretasikan untuk menyatakan sistem fisik, biologi, ekonomi, dan sebagainya.

Prinsip-Prinsip Desain Sistem Kontrol. Setiap sistem kontrol harus stabil. Ini merupakan persyaratan utama. Di samping kestabilan mutlak, suatu sistem kontrol harus mempunyai kestabilan relatif yang layak; jadi, kecepatan respon harus cukup cepat dan menunjukkan peredaman yang layak. Suatu sistem kontrol juga harus mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu harga yang dapat ditoleransi. Setiap sistem kontrol yang berguna harus memenuhi persyaratan ini.

Persyaratan kestabilan relatif yang layak dan ketelitian keadaan tunak (*steady state*) cenderung tidak dapat dipenuhi secara bersama-sama. Oleh karena itu dalam mendesain sistem kontrol, Kita perlu melakukan kompromi yang paling efektif di antara dua persyaratan ini.

Diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya. Diagram semacam ini melukiskan

hubungan timbal-balik yang ada antara berbagai komponen. Berbeda dengan penyajian matematik yang abstrak belaka, diagram blok mempunyai keunggulan dalam menunjukkan aliran sinyal yang lebih nyata pada sistem yang sebenarnya.

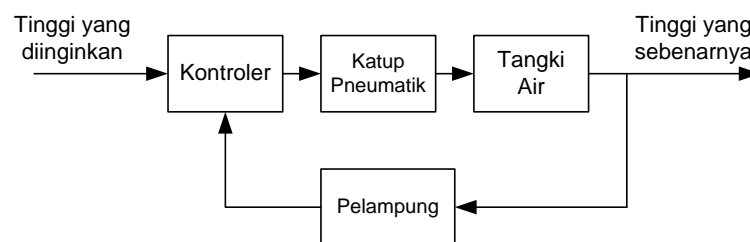
Kontrol numerik adalah suatu metoda pengontrolan gerak dari komponen mesin dengan menggunakan angka-angka. Pada kontrol numerik, gerak benda kerja dapat dikontrol dengan informasi biner yang disimpan pada sebuah memori. Desain suatu sistem adalah mencari suatu sistem yang dapat menyelesaikan tugas yang diberikan. Pada umumnya, prosedur desain tidak diperoleh secara langsung tetapi memerlukan metodacoba-coba.

Mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 kW-1 MW per Unit. Syarat dasar dari pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah adanya air mengalir dan beda ketinggian.

F. Test Formatif

Untuk mengetahui pemahaman Anda pada pembelajaran ini, jawablah pertanyaan di bawah ini!

1. Buatlah daftar kelebihan dan kelemahan yang penting dari sistem kontrol loop terbuka!



Gambar 2. 17 Kontrol permukaan air

2. Gambar 1-17 adalah diagram skematik sistem pengontrolan tinggi muka cairan. Di sini kontroler otomatis menjaga tinggi muka cairan dengan membandingkan tinggi muka yang sebenarnya dengan tinggi muka yang diinginkan dan melakukan koreksi setiap kesalahan dengan mengatur bukaan katup pneumatik. Gambarkanlah diagram blok semacam itu untuk sistem pengontrolan tinggi muka cairan yang dioperasikan manusia (manual)!

3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan : plant, sistem, proses, umpanbalik, gangguan dan sistem berumpan balik?
4. Apa yang dimaksud dengann sistem pengontrolan proses?
5. Sebutkan dan jelaskan salah satu dari contoh sistem kontrol!
6. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis sistem kontrol!
7. Apa saja prinsip-prinsip desain sistem kontrol?

Lembar Kerja Peserta Diklat

LK 2.0

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Sistem Dasar Kontrol? Sebutkan!

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!


4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

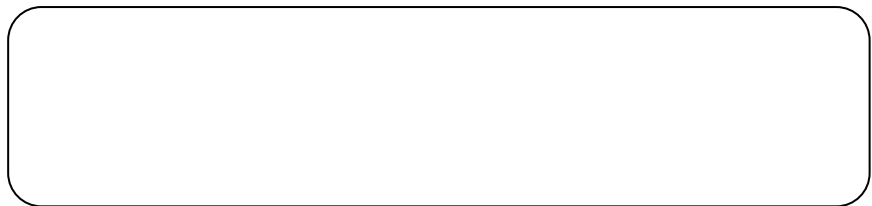
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

LK-2.1

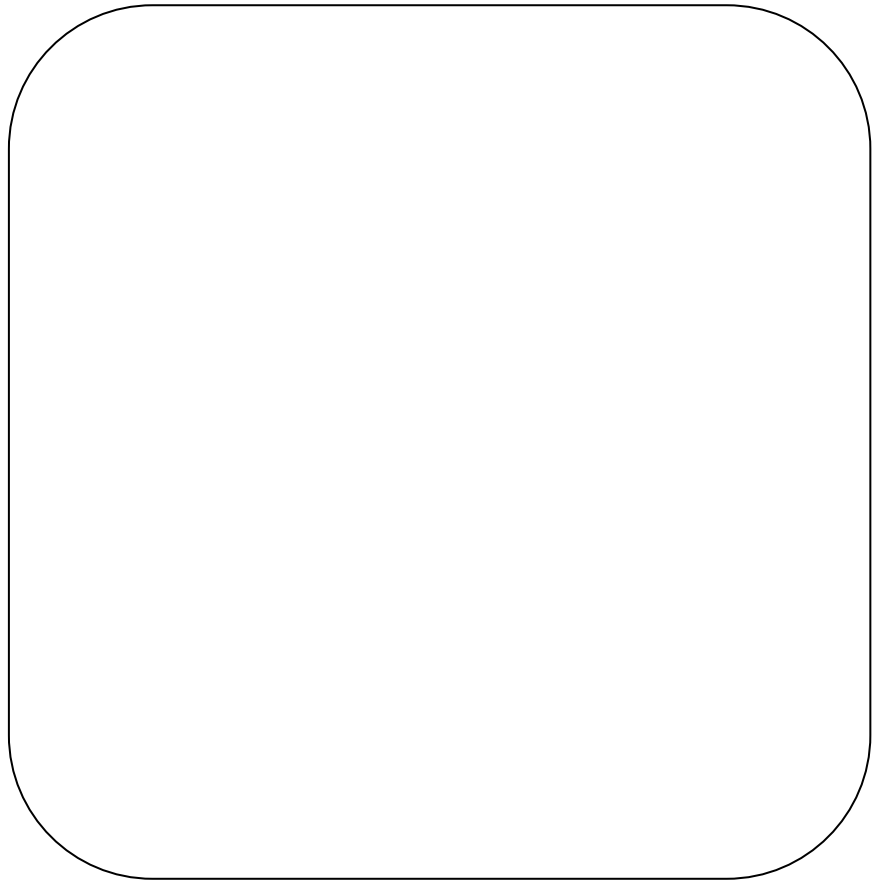
1. Buatlah diagram blok dari sistem kontrol tersebut!



2. Termasuk jenis sistem kontrol apa yang telah Anda amati tersebut?



3. Berikan penjelasan singkat dari hasil pengamatan tadi!



LK 2.2

No	Diagram Blok Asal	Diagram Blok Pengganti
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : KONTROL PID

A. Tujuan

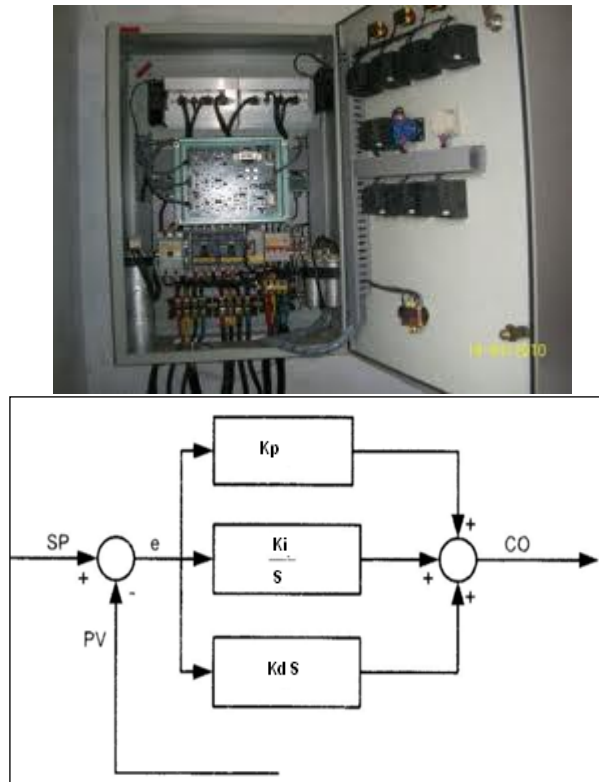
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan beberapa model Proses.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Mengidentifikasi parameter model proses self regulating dan non self regulating.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menyebutkan berbagai struktur/algorithm kontrol PID yang umum dijumpai pada modul kontrol komersil beserta metode-metode tuningnya.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing struktur kontrol PID tersebut.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan satuan parameter kontrol PID.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan pengaruh besaran parameter kontrol PID terhadap dinamika proses yang dikontrol.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Memilih struktur dan metode tuning PID yang tepat untuk sebuah proses yang dihadapi.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menentukan besaran parameter kontrol PID yang optimal untuk sebuah proses yang dikontrol.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan pengertian integrator windup dan cara antisipasinya.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan prinsip kerja autotuning
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan jenis-jenis autotuning.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing metode autotuning
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat Menjelaskan prinsip kerja gain scheduling.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan beberapa model Proses.
2. Mengidentifikasi parameter model proses self regulating dan non self regulating.
3. Menyebutkan berbagai struktur/algorithm kontrol PID yang umum dijumpai pada modul kontrol komersil beserta metode-metode tuningnya.
4. Menjelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing struktur kontrol PID tersebut.
5. Menjelaskan satuan parameter kontrol PID.
6. Menjelaskan pengaruh besaran parameter kontrol PID terhadap dinamika proses yang dikontrol.
7. Memilih struktur dan metode tuning PID yang tepat untuk sebuah proses yang dihadapi.
8. Menentukan besaran parameter kontrol PID yang optimal untuk sebuah proses yang dikontrol.
9. Menjelaskan pengertian integrator windup dan cara antisipasinya.
10. Menjelaskan prinsip kerja autotuning
11. Menjelaskan jenis-jenis autotuning.
12. Menjelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing metode autotuning
13. Menjelaskan prinsip kerja *gain scheduling*.

C. Uraian Materi

Coba Anda perhatikan Gambar 3.1 di bawah ini. Apa yang Anda ketahui dengan Kontrol PID? Bagaimana kontroler pada Gambar 3.1 bekerja? Mengapa menggunakan Mode PID? Diskusikan tentang jenis-jenis struktur kontrol PID beserta *tuning*-nyadan berikan contoh penerapan kontrol otomatis disekitar Anda.



Gambar 3. 2 Panel kontrol PLTMh (atas); Diagram blok controller PID Ideal (bawah).

Diskusikan pula parameter-parameter kontrol, bacalah buku bahan ajar ini atau informasi dari sumber lain untuk mendapatkan informasi yang lebih dalam, baik dari internet atau buku sumber lainnya, presentasikan setelah diskusi selesai.

Pendahuluan

Dalam desain kontrol, mengetahui pemodelan proses dan karakteristik dinamik merupakan kunci utama keberhasilan. Membuat pemodelan sangat penting mengingat secara teknis terdapat hubungan antara proses yang akan dikontrol dengan parameter kontroler (PID) yang harus di-*tuning*, sehingga parameter PID

optimal dapat dicari secara lebih pasti (tanpa coba-coba) berdasarkan model dan nilai parameter proses yang diketahui. Kontrol proses industri (dalam hal ini variabel temperatur, tegangan, frekuensi, tekanan, posisi, kecepatan dan sebagainya) umumnya akan menunjukkan salah satu karakteristik dari dua model matematis sebagai berikut:

Model proses self regulating. Model ini merupakan model proses yang bersifat stabil. Untuk kepentingan perancangan dan *tuning* parameter kontrol PID-nya, model proses ini dapat didekati oleh sebuah model matematis yang dikenal dengan nama model FOPDT (*FirstOrder Plus Dead Time*) yang hanya dicirikan oleh tiga buah parameter: Keterlambatan transportasi (L), Konstanta waktu proses (T) dan Gain statis proses (K).

Model proses non self regulating. Model ini merupakan model proses yang tidak stabil. Salah satu yang sering dijumpai di industri adalah model IPDT (*Integrating Plus Dead Time*) yang hanya dicirikan oleh dua buah parameter saja: Keterlambatan transportasi (L) dan Gain integratif proses (K^*).

Untuk kedua model proses tersebut, parameter kontrol PID optimal dapat dicari berdasarkan nilai parameter proses asosiasinya. Dalam banyak kasus pengontrolan, pengetahuan parameter proses itu sendiri secara praktis umumnya dicari lewat eksperimen. Jika dilaksanakan secara benar, eksperimen ini dapat dilangsungkan bahkan pada kontrol proses yang sedang berjalan tanpa membuat operasi pengontrolan mengalami *upset* terlalu parah. Kontrol PID merupakan kontrol klasik yang banyak digunakan di industri karena beberapa alasan berikut :

- Kesederhanaan struktur kontrol : Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (*Tuning*), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitif mudah dipahami oleh operator.
- Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti handal, baik digunakan sebagai sistem regulator (sistem kontrol dengan set point konstan dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sebagai sistem servo (sistem kontrol dengan set point yang berubah dan beban cenderung konstan).

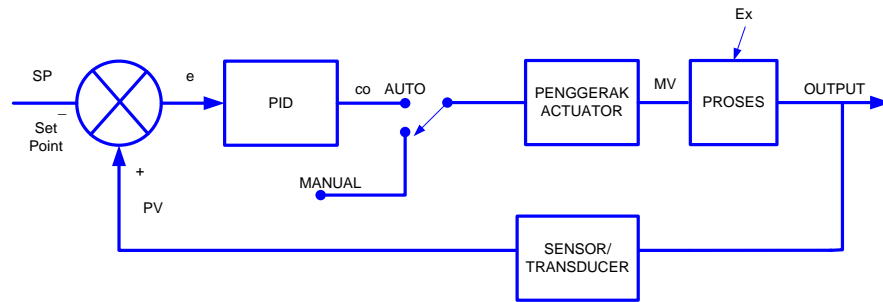
Pada awal penggunaannya, teknik kontrol PID untuk tujuan kontrol proses industri umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog. Bahkan, banyak di antaranya direalisasikan dengan komponen mekanis dan pneumatik murni. Seiring dengan perkembangan dunia digital (terutama mikroprosesor dan mikrokontroler), dewasa ini PID dapat dijumpai dalam berbagai bentuk modul komersil. Mulai dari sekedar modul PID untuk pengontrolan satu jenis variabel proses tertentu (*special purpose process controller*), sampai modul PID untuk tujuan pengontrolan beragam variabel proses (*general purpose process controller*) atau lebih dikenal dengan nama populer DCS (*Distributed Control Sistem*), Bahkan dalam perkembangan terakhir, kontrol PID juga telah banyak ditanamkan pada sistem PLC (*Programmable Logic Controller*).

Model Self Regulating Process

Model *self regulating process* adalah model yang paling banyak dijumpai di industri. Seperti telah sedikit disinggung di atas, model *self regulating process* pada dasarnya dapat didekati oleh sebuah model matematis *First Order Plus Dead Time* (FOPDT) yang hanya dicirikan oleh tiga buah parameter berikut:

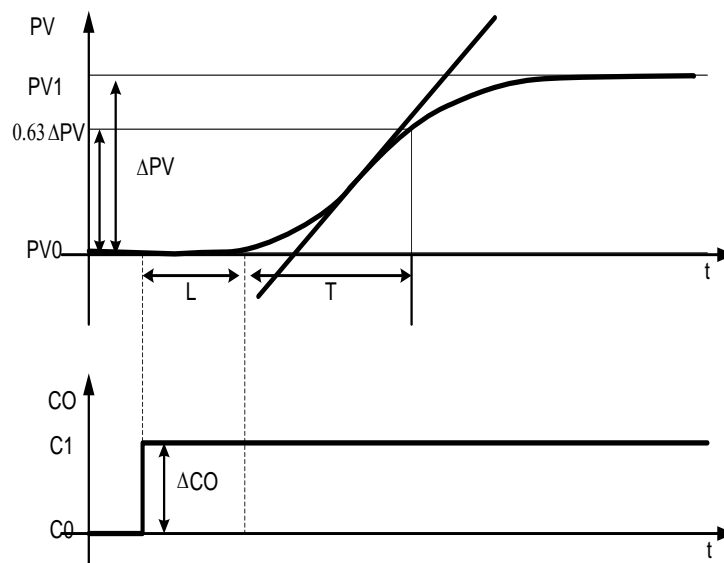
- *Process transport delay* (*delay* atau keterlambatan transportasi proses) - L
- *Process time constant* (konstanta waktu proses) - T
- *Process static gain* (gain statis proses) - K

Ketiga parameter yang menggambarkan dinamika proses tersebut, secara praktis dapat diperoleh atau diidentifikasi melalui eksperimen sederhana *Bump test* atau test sinyal tangga secara *open loop* pada mode kontrol manual seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 3 Eksperimen *bump test* pada mode kontrol manual (loop terbuka)

Secara teknis, eksperimen *bump test* dilakukan dengan cara memberi perubahan tangga (*step*) sinyal output kontroler-CO oleh operator pada saat proses telah mengalami keadaan *steady* (menetap) disekitar titik kerja nominalnya. Respon variabel output (PV) kemudian direkam dan dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak tertentu atau dapat juga dianalisis secara manual oleh operator yang bertanggung jawab terhadap proses tersebut.



Gambar 3. 4 Respon tangga pada eksperimen bump test untuk mode(FOPDT)

Dengan mengacu grafik respon tangga pada Gambar 3.3, parameter-parameter proses FOPDT dapat dicari/dihitung sebagai berikut:

Process Transport delay (keterlambatan transportasi proses) – L.Waktu keterlambatan transportasi atau waktu ketidakpastian yang terjadi pada proses

dihitung sejak terjadi perubahan tangga pada T_0 sampai variabel proses (PV) yang dikontrol mulai menanggapi perubahan input CO tersebut. Tergantung variabel prosesnya, rentang waktu keterlambatan yang terjadi dapat berkisar dari satuan detik sampai beberapa menit. Dalam bidang kontrol proses, keterlambatan transportasi atau waktu mati yang relatif lama (dibandingkan dengan konstanta waktu proses) seringkali menimbulkan permasalahan unjuk kerja pengontrolan yang relatif sukar diatasi dengan algoritma kontrol PID biasa.

Secara praktis, penyebab utama atau yang paling mendominasi terjadinya keterlambatan transportasi ini adalah posisi penggerak dari *Plant* proses yang sedang dikontrol. Sebagai contoh dalam sistem *flow control*, keterlambatan transportasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jarak *control value* dari *powerPlant* tempat berlangsungnya proses pembangkit listrik tersebut. Semakin jauh posisi *control value* dari *plant*, keterlambatan transportasi akan semakin lama.

Process Time Constant (Konstanta waktu proses) – T. Waktu yang diperlukan sehingga nilai PV mencapai kurang lebih 63% dari keadaan *steady* akhirnya. Perhitungan nilai konstanta waktu dimulai sejak PV mulai menanggapi perubahan CO (setelah waktu tunda berlalu). Seperti halnya keterlambatan transportasi, konstanta waktu proses dapat berkisar dari satuan detik sampai menit.

Selain dengan cara mengamati respon dari grafik, konstanta waktu proses dapat juga dihitung berdasarkan *gradien* atau *slope* maksimum yang terjadi pada saat transien. Dengan menggunakan teknik ini, konstanta waktu dapat dicari berdasarkan persamaan (2.1) berikut:

$$T = \frac{\Delta PV}{slopeMax} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dalam hal ini, ΔPV dan *slopemax* adalah deviasi dan *gradien* output proses maksimum saat transien seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.

Besar kecilnya konstanta waktu tersebut pada dasarnya menunjukkan kecepatan respon proses. Semakin kecil nilai konstanta waktu, respon proses semakin cepat.

Nilai ini pada dasarnya ditentukan oleh tiga hal utama berikut:

- Dimensi *plant* tempat kontrol proses berlangsung

- Jenis material dan beban yang terlibat pada kontrol proses
- Kekuatan atau daya penggerak.

Sebagai contoh, untuk sistem *heatexchanger*, konstanta waktu proses ditentukan secara langsung oleh ukuran *heatexchanger*, jenis serta debit fluida yang dikontrol dan juga tekanan nominal dari *steam* pemanas. Sebagai contoh, respon proses akan semakin cepat (atau konstanta waktu-takan semakin kecil) jika dimensi *heatexchanger* berukuran kecil, aliran fluida yang dikontrol relatif cepat serta tekanan *steam* yang digunakan pada proses pemanasan semakin tinggi.

Ditinjau dari sudut pengontrolan umpan balik, perbandingan antara waktu mati dengan konstanta waktu proses (L/T) akan sangat menentukan perlu tidaknya penggunaan kompensator atau prediktor tambahan pada kontroler konvensional (PID): Jika $L/T > 1$, maka kontroler umumnya memerlukan kompensator tambahan agar unjuk kerja kontroler relatif memuaskan. Nilai konstanta waktu proses ini secara langsung juga mempengaruhi waktu cuplik (T) yang harus digunakan/dipilih pada sebuah kontroler digital komersil (sistem DCS atau PLC). Agar tidak terjadi aliasing, waktu cuplik yang digunakan atau dipilih pada kontroler digital harus jauh lebih kecil dari konstanta waktu proses yang akan dikontrol (nilai T yang dipilih umumnya paling tidak sebesar $0.1 T$).

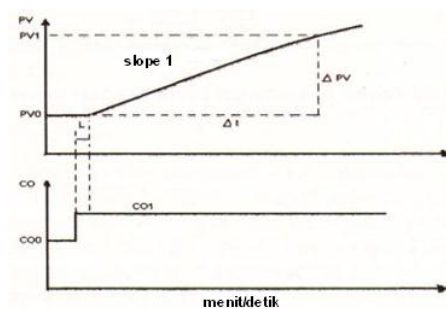
Gain statis proses (process static gain) adalah perbandingan perubahan PV terhadap CO dalam keadaan *steady-nya*:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{\overline{PV1} - \overline{PV0}}{\overline{CO1} - \overline{CO0}} \dots \dots \dots (2.2)$$

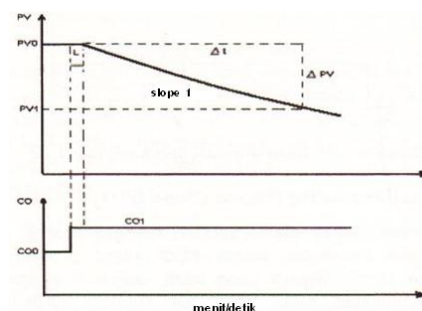
Nilai gain proses ini secara langsung menunjukkan kesensitifan dari proses, semakin besar gain statis maka proses semakin sensitif: perubahan kecil pada CO akan menghasilkan deviasi PV yang relatif besar (lihat relasi pada persamaan 2.2). Seperti halnya parameter konstanta waktu, gain proses besarnya sangat ditentukan oleh dimensi *Plant*, daya penggerak serta beban yang terlibat pada proses tersebut. Tergantung dari proses dan sifat penggeraknya, gain statis proses pada dasarnya dapat bernilai positif atau negatif (hal ini berbeda dengan dua parameter proses sebelumnya yaitu L dan T yang selalu bernilai positif).

Mode Non Self Regulating Process (Model IPDT)

Sebuah proses dapat dikategorikan sebagai model *Non-Self Regulating* jika hubungan antar input dan output proses tersebut bersifat tidak stabil. Salah satu model *non-self regulating* yang umum dijumpai di industri adalah model *Integrating Plus Dead Time* (IPDT). Proses dapat didekati oleh model matematis IPDT jika untuk sebuah perubahan tangga input kontrol CO pada keadaan steady atau titik kesetimbangannya, output proses PV tersebut akan terus menerus membesar atau terus menerus mengecil tergantung dari sifat prosesnya itu sendiri (apakah bersifat *direct* atau *reverse*). Gambar 3.4 dan 2.5 berikut berturut-turut memperlihatkan tanggapan tipikal output model prases IPDT *direct* dan model proses IPDT reverse terhadap perubahan input kontrol disekitar nilai kesetimbangannya.



Gambar 3. 5 Relasi input-output untuk model IPDT (*proses reverse*)



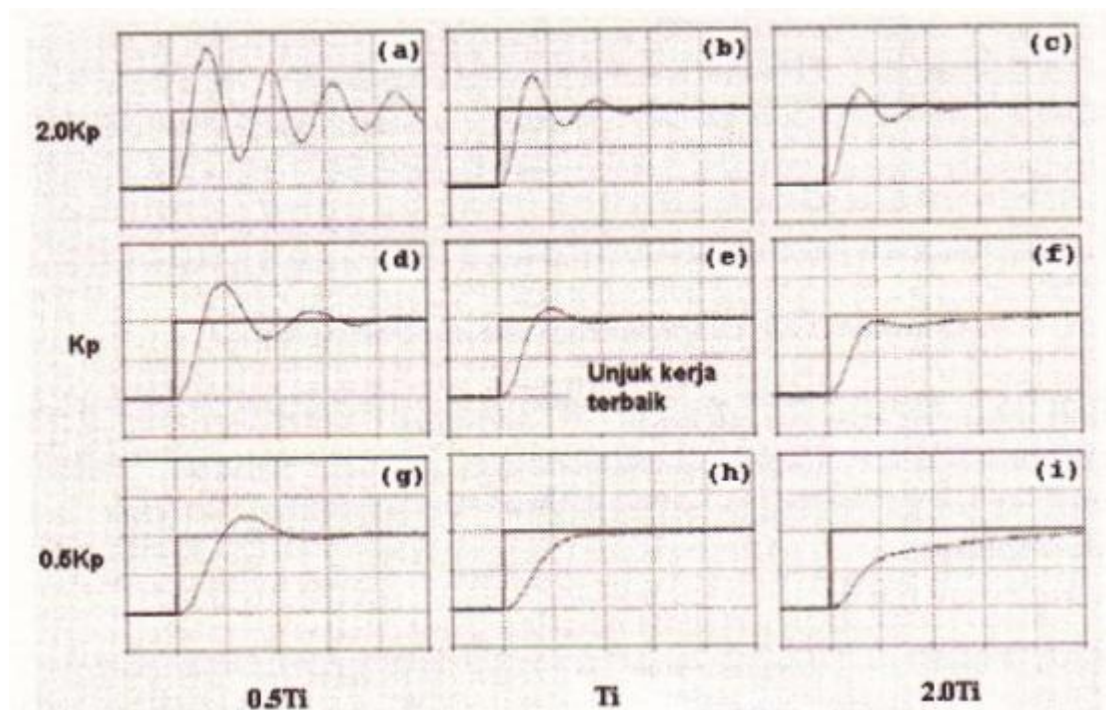
Gambar 3. 6 Relasi input-output untuk model IPDT (*proses direct*)

Gain integratif proses (process integrative gain) dengan simbol K^* : Perbandingan antara perubahan kemiringan (slope) output proses dengan besar perubahan (*magnituda*) sinyal kontroler. Jika keadaan awal proses telah berada dalam titik

kesetimbangan atau keadaan *steady*-nya (keadaan setimbang ini pada kenyataannya sangat sulit dicapai), maka berdasarkan grafik pada Gambar 3.6 atau 2.7, besarnya gain integrative dapat dirumuskan:

$$K^* = \frac{\Delta \text{slope}}{\Delta CO} = \frac{\text{slope}_1}{\Delta CO} = \frac{(PV_1 - PV_0) / \Delta t}{CO_1 - CO_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

Salah satu hal penting yang perlu diketahui oleh Anda adalah algoritma atau struktur PID yang tertanam pada modul kontrol. Hal ini dikarenakan algoritma PID mungkin berbeda antara produk satu vendor dengan produk vendor lainnya. Bahkan, tidak jarang dalam sebuah modul tertentu dijumpai beragam algoritma atau struktur PID yang dapat dipilih secara bebas.



Gambar 3. 7 Pengaruh pembesaran Kp dan Ti terhadap respon output proses jenis-jenis struktur kontrol PID (dasar) dan metode *tuning*nya

Ditinjau dari aspek *tuning* parameter kontrolnya, pengetahuan struktur PID tersebut juga sangat penting karena struktur PID yang berbeda akan memiliki metode *tuning* yang relatif berbeda pula. Dengan mengetahui struktur PID pada modul serta pengetahuan model proses yang dikontrol, nilai parameter PID yang optimal pada

dasarnya dapat dicari secara mudah berdasarkan metode-metode *tuning* yang telah dikembangkan sebelumnya oleh sejumlah peneliti dan praktisi bidang kontrol proses, baik secara empiris maupun berdasarkan metode-metode optimasi tertentu. Berikut ini adalah berbagai struktur atau algoritma PID beserta metode *tuning*-nya yang dapat dijumpai pada sejumlah modul kontrol PID komersil dan beberapa literatur kontrol.

Struktur PID Tipe A

Struktur PID tipe A dikenal juga dengan nama struktur kontrol PID ideal atau struktur PID paralel atau struktur PID *non-interacting*. Struktur ini adalah struktur PID yang umum ditemukan pada sebagian besar buku-buku teks kontrol. Persamaan 2.4 berikut memperlihatkan bentuk umum dari PID ideal.

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad \text{.....(2.4)}$$

Atau

$$CO(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{.....(2.5)}$$

dengan :

$CO(t)$: output kontroler

$e(t)$: selisih antara *setpoint* dengan nilai output proses (dengan menganggap proses yang dikontrol bersifat *direct*, maka $e = SP - PV$)

K_p : *gain proporsional*

T_i : *time integral*

T_d : *time derivatif*

K_i : *gain integral* (K_p/T_i)

K_d : *gain derivatif* ($K_p T_d$)

Secara praktis, struktur PID pada persamaan 2.4 dan 2.5 di atas secara berurutan dikenal juga dengan istilah PID ideal bentuk *dependent* dan PID ideal bentuk *independent*. Kedua istilah tersebut mengacu pada dependensi (ketergantungan)

setiap suku persamaan terhadap perubahan nilai gain proporsional (K_p). Perhatikan dalam bentuk persamaan (2.4), perubahan nilai K_p tidak saja mempengaruhi pada nilai penguatan proporsional, tetapi juga akan mempengaruhi keluaran suku integrator dan suku derivator sehingga persamaan (2.4) tersebut dinamakan bentuk dependent. Sedangkan untuk struktur PID pada persamaan (2.5), perubahan nilai K_p hanya akan mempengaruhi suku keluaran proporsional (output kontrol dari suku integrator dan derivator tak terpengaruh sehingga dinamakan bentuk independent).

Dalam kawasan *laplace*, persamaan (2.4) dan (2.5) tersebut dapat ditulis:

$$CO(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \dots \dots (2.6)$$

Berhubung kontroler komersil (dalam hal ini *general purpose controller*) merupakan sebuah modul yang dirancang untuk dapat mengontrol beragam variabel proses (tidak hanya satu jenis saja), satuan-satuan atau terminologi yang digunakan pada kontroler biasanya akan bebas dari satuan variabel fisik yang dikontrol.

Berikut ini adalah satuan yang umum digunakan pada PID komersil:

1. Satuan K_p : % atau tanpa satuan.
2. Satuan T_i : menit atau detik (dalam beberapa modul ditulis menit/siklus atau detik/siklus).
3. Satuan T_d : menit atau detik.
4. Satuan K_i : 1/menit atau 1/detik (dalam beberapa modul ditulis siklus/menit atau siklus/detik).
5. Satuan K_d : menit atau detik.

Khusus untuk gain proporsional, beberapa vendor PID komersil seperti Yokogawa dalam produknya menggunakan istilah *Proporsional Band* (PB) yang dirumuskan oleh 2.6 berikut :

$$PB(\%) = \frac{100\%}{K_p} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dalam hal ini, semakin besar nilai PB, gain proporsional yang digunakan akan semakin kecil. Walaupun secara teoritis nilai-nilai parameter kontrol PID besarnya dapat diatur

secara independen, tetapi secara praktis (terutama terkait dengan model proses yang dikontrol), pengaturan atau *tuning* yang dilakukan terhadap salah satu parameter kontrol umumnya memerlukan pengaturan ulang pada parameter yang lain. Sebagai contoh, untuk sebuah model proses tertentu. Pengubahan nilai KP (diperbesar atau diperkecil) umumnya akan memerlukan *setting* ulang pada besaran parameter kontrol K_i , (atau T_i) dan K_d (atau T_d). Tabel 2.1 di bawah memperlihatkan pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap unjuk kerja pengontrolan proses secara umum.

Tabel 3. 1 Pengaruh tuning salah satu parameter PID terhadap unjuk kerja proses

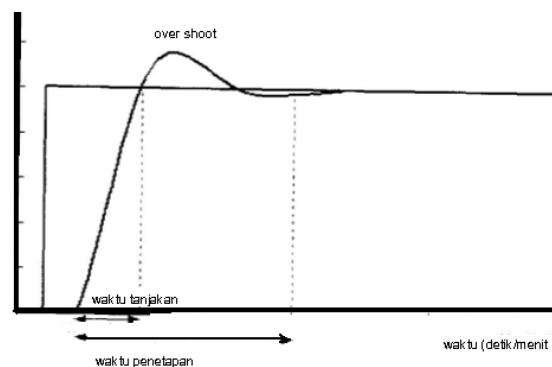
Item	Waktu Tanjakan	Overshoot	Waktu Penetapan	Kestabilan
Pembesaran Kp	Berkurang	Bertambah	Sedikit bertambah	Menurun
Pembesaran K_i Pengecilan T_i	Sedikit berkurang	Bertambah	Bertambah	Menurun
Pembesaran K_d. (Pembesaran T_d)	Sedikit berkurang	Berkurang	Berkurang	Meningkat

Dalam bentuknya yang ideal, parameter unjuk kerja yang tampak pada tabel 2.1 di atas dapat dijelaskan sebagai berikut (lihat juga ilustrasinya pada Gambar 3.7):

- Waktu tanjakan. Waktu yang diperlukan respon (*deviasi output variable* proses) untuk naik dari 0 sampai 100% harga akhirnya.
- Overshoot. Lonjakan maksimum yang dialami oleh respon proses.
- Waktu penetapan. Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan menetap disekitar 95%-98% dari harga akhirnya.

Dengan metode *tuning* parameter kontrol PID, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah problem yang dihadapi pada kontrol proses tersebut. Dalam hal ini, perlu diketahui terlebih dulu apakah proses yang dikontrol selama operasinya

mengalami perubahan titik operasi (*problem Servo*) atau proses tersebut sering mengalami perubahan beban (*problem Regulator*). Hal di atas dikarenakan hasil *Tuning* parameter PID yang optimal untuk problem Servo belum tentu menghasilkan unjuk kerja yang memuaskan pada problem Regulator (hal yang sama berlaku juga sebaliknya yang diilustrasikan pada Gambar 3.7).



Gambar 3. 8 Respon proses sebagai akibat perubahan *Setpoint*

Empat mode kontrol proses yang dapat digunakan dalam pengontrolan variabel proses adalah sebagai berikut :

- Mode Kontrol Proporsional (Kontrol P)
- Mode Kontrol Proporsional Integral (Kontrol PI)
- Mode Kontrol Proporsional Derivatif (kontrol PD)
- Mode Proporsional Integral Derivatif (Kontrol PID).

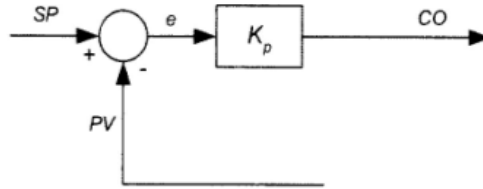
Mode Kontrol Proporsional (P)

Berdasarkan persamaan 2.7, kontrol proporsional secara praktis dapat diperoleh dengan cara men-*setting* nilai T_i dan T_d berturut-turut sama dengan nilai tak hingga dan nol (atau $K_i = K_d = 0$). Dengan demikian, hubungan antara output kontrol CO dengan *error* penggerak pada aksi kontrol proporsional dapat ditulis:

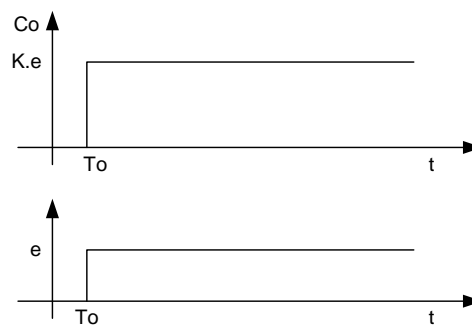
$$CO(t) = K_p e(t) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan (2.7), tampak bahwa besar output kontrol (CO) selalu sebanding dengan besar sinyal *error* penggerak. Gambar 3.8 dan 2.9 berturut-

turut memperlihatkan blok diagram kontrol proporsional dan relasi *input-output* -nya.

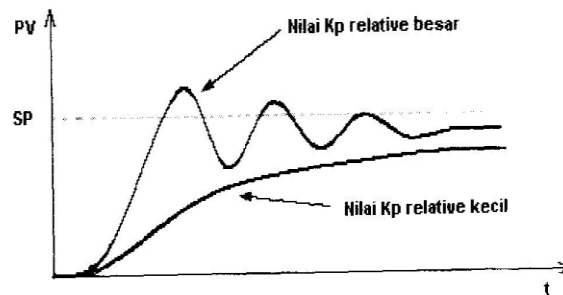


Gambar 3. 9 Diagram Blok kontrol Proporsional



Gambar 3. 10 Hubungan Input-output kontrol proporsional

Khusus untuk pengontrolan proses FOPDT, aksi kontrol Proporsional dalam menanggapi perubahan *Setpoint* dan/atau gangguan secara praktis akan selalu menunjukkan *offset (error steady)* pada input proses yang dikontrolnya. Besar-kecilnya *error steady* sangat tergantung pada nilai penguatan (gain) yang dipilih. Semakin besar K_p yang digunakan, maka *error steady* akan semakin mengecil. Pembesaran nilai gain tersebut selain akan memperkecil *error steady*, juga akan mempercepat respon output proses (memperkecil waktu penetapan proses). Tetapi walaupun demikian, pembesaran nilai K_p secara praktis tidak dapat dilakukan secara terus menerus karena pada penguatan tertentu, output proses akan menjadi kurang stabil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.

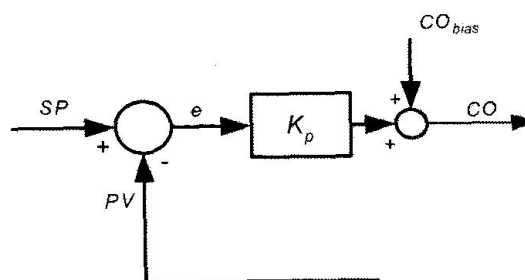


Gambar 3. 11 Pengaruh besar gain proporsional terhadap dinamika output proses FOPDT.

Penting Untuk Diketahui

Dalam sistem kontrol umpan balik (*closed loop*), *error steady* akan selalu muncul jika model proses yang dikontrol atau kontrolernya itu sendiri tidak memiliki komponen yang memiliki sifat *integrator* (misal dalam hal ini pengontrolan model proses FOPDT dengan menggunakan kontrol Proporsional). Secara praktis fenomena *offset* tersebut dapat dihilangkan dengan cara menambahkan sinyal kontrol bias pada output kontrol Proporsionalnya. Persamaan 2.8 dan Gambar 3.11 berikut berturut-turut memperlihatkan persamaan kontrol proporsional dan diagram bloknya dengan mencantumkan sinyal kontrol bias secara eksplisit.

$$CO(t) = K_p \cdot e(t) + CO_{bias} \dots \dots \dots (2.8)$$



Gambar 3. 12 Diagram blok kontrol proporsional dengan bias

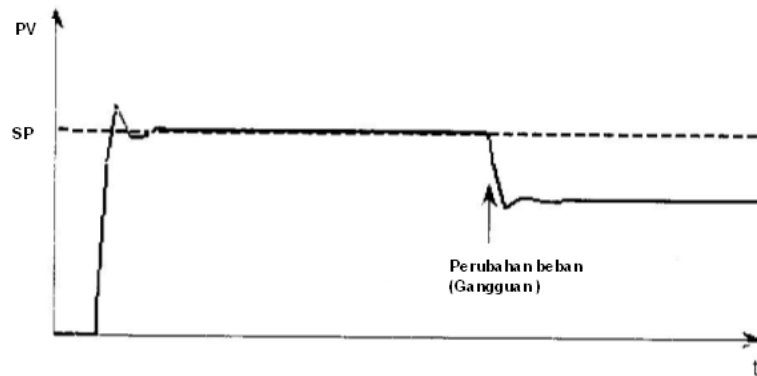
Untuk nilai *setpoint* dan beban proses tertentu, besar sinyal bias dapat diatur atau di-setting secara manual oleh operator sedemikian sehingga nilai output proses (PV) akan sama dengan nilai *setpoint*. Jika satu saat *setpoint* atau

beban yang dikontrol berubah, maka operator harus *mensetting* ulang kembali besar sinyal kontrol bias tersebut.

Dalam kaitannya dengan pengontrolan proses FOPDT, besar penguatan K_p yang harus dipilih secara umum dapat merujuk pada tiga parameter proses FOPDT itu sendiri:

1. Kesensitifan proses yang dikontrol (secara teoritis ditunjukkan oleh besar nilai gain statis proses - K). Semakin sensitif sebuah proses (nilai gain statis proses semakin besar), nilai K , yang di-*setting* harus semakin kecil (berbanding terbalik).
2. Waktu ketidakpastian respon proses (ditunjukkan oleh nilai delay transportasi proses - L). Semakin lama waktu ketidakpastian (delay transportasi), maka nilai K_p , yang di-*setting* harus semakin kecil (berbanding terbalik).
3. Kecepatan respon proses (ditunjukkan oleh nilai konstanta waktu proses - T). Semakin cepat sebuah proses (atau semakin kecil T), nilai K_p yang di-*setting* harus semakin kecil (berbanding lurus).

Berbeda dengan respon model proses FOPDT dalam menanggapi aksi kontrol proporsional. Berdasarkan sifat prosesnya (yaitu memiliki integrator dalam), penerapan aksi kontrol proporsional pada model proses IPDT secara praktis akan menghasilkan *offset* atau *error steady* hanya jika proses yang dikontrol mengalami gangguan atau perubahan beban saja (lihat Gambar 3.12)



Gambar 3. 13 Pengaruh perubahan *setpoint* dan beban (gangguan) pada sistem kontrol proporsional untuk proses IPDT

Penentuan pengaturan besar gain proporsional untuk model IPDT ini memiliki aturan yang sensitif seperti kasus pengontrolan model FOPDT:

- Semakin sensitif model IPDT yang akan dikontrol (ditunjukkan oleh besar nilai gain integratif proses K^*), gain proporsional yang *di-setting* harus semakin kecil (berbanding terbalik).
- Semakin besar waktu ketidakpastian model IPDT (ditunjukkan oleh besar waktu keterlambatan transportasi L), gain proporsional yang *di-setting* harus semakin kecil (berbanding terbalik).

Tabel 2.2 dan tabel 2.3 berikut berturut-turut memperlihatkan metode *Tuning* yang dapat digunakan untuk mendapatkan besar gain proporsional optimal pada pengontrolan proses FOPDT dan IPDT.

Tabel 3. 2 Metoda Tuning kontrol Proporsional untuk model proses FOPDT

Metode	K_p	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{T}{KL}$	Quarter Decay Ratio

Tabel 3. 3 Metoda Tuning kontrol Proporsional untuk model proses IPDT

Metode	Kp	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{0,78}{LK^*}$	Quarter Decay Ratio

Mode Kontrol Proporsional Integral (PI)

Dalam aplikasi di lapangan, kontrol proporsional integral biasanya digunakan untuk pengontrolan proses yang memiliki dinamika relatif cepat (seperti aliran, tekanan, kontrol tegangan, dan level). Berdasarkan sebuah survey, dinyatakan bahwa hampir 80% kontroler PID yang terinstal di industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya.

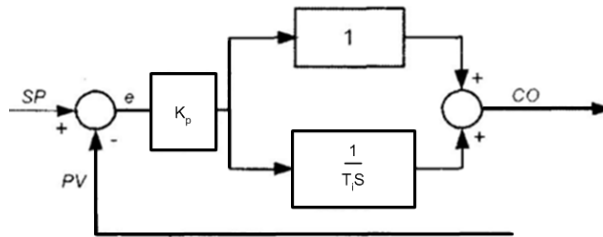
Untuk sebuah modul kontrol PID, Kontrol PI dapat diperoleh dengan cara men-setting nilai gain (waktu) derivatif sama dengan nol, atau secara matematis dapat ditulis:

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right] \dots\dots\dots (2.9)$$

Dalam kawasan *Laplace*, persamaan 2.9 tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut :

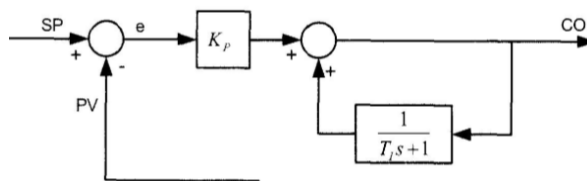
$$CO(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] e(s) \dots\dots\dots (2.10)$$

Diagram blok untuk perumusan di atas diperlihatkan pada Gambar 3.13 berikut:



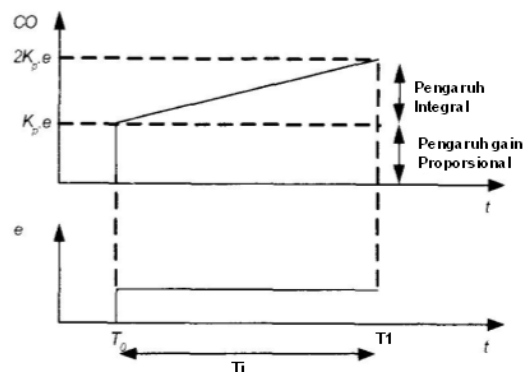
Gambar 3. 14 Diagram blok kontrol Proporsional Integral

Penambahan blok integrator di dalam kontroler pada dasarnya dimaksudkan untuk menggantikan sinyal bias manual (atau manual reset) yang berfungsi menghilangkan *error steady*. Selama masih terdapat selisih atau *error* antara *setpoint* dengan variabel proses, output kontroler PI akan selalu membesar atau mengecil. Selain Gambar 3.13, kontrol PI dapat juga direalisasikan dalam bentuk diagram blok seperti tampak pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 15 Diagram blok alternative kontrol PI

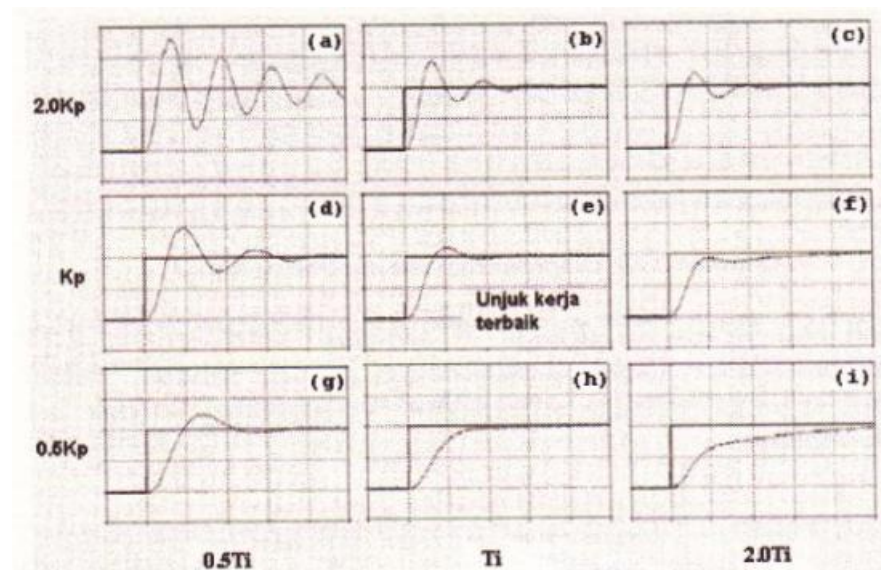
Salah satu kelebihan struktur PI alternatif pada Gambar 3.14 tersebut adalah dapat disisipkannya model saturasi dalam kontroler yang berfungsi sebagai *Anti-Windup*. Untuk nilai K_p dan T_i yang dipilih, kontribusi suku integral akan sama nilainya dengan pengaruh kontrol proporsional setelah selang waktu T_i .



Gambar 3. 16 Aksi kontrol PI

Seperti halnya dengan gain proporsional, pemilihan parameter waktu (atau gain) integral pada kontrol PI secara praktis akan sangat mempengaruhi dinamika keluaran variabel output proses yang sedang dikontrol. Jika kedua parameter kontrol (K_p , dan T_i) ini dipilih secara tepat, maka respon yang didapat akan optimal (sesuai harapan). Pembesaran atau pengecilan nilai K_p dan T_i dari nilai optimalnya dapat menyebabkan respon menjadi terlalu lambat atau terlalu berosilasi. Gambar 3.16 di bawah memperlihatkan pengaruh pembesaran (pengecilan) K dan T dari nilai optimalnya terhadap dinamika output.

Berdasarkan ilustrasi Gambar 3.16 tersebut, dapat dilihat bahwa untuk nilai K_p yang tetap, pengecilan nilai T_i (atau pembesaran K_p) dari nilai optimalnya akan menyebabkan respon proses semakin berosilasi dengan perioda osilasi yang relatif lama. Sedangkan jika nilai T_i tersebut diperbesar (atau nilai K_p diperkecil) dari nilai optimalnya, hal tersebut akan menyebabkan respon proses akan semakin lambat (*sluggish*) dalam menanggapi perubahan *Set Point* (atau merespon gangguan).



Gambar 3. 17 Pengaruh pembesaran (pengecilan) Kp dan Ti terhadap respon output proses.

Hal yang relatif sama terjadi pada kasus pembesaran gain proporsional dari nilai optimalnya (hanya saja perioda osilasi yang dihasilkan relatif lebih cepat). Berdasarkan Gambar 3.16, dapat dilihat juga respon output proses jika kedua parameter kontroler tersebut diubah secara simultan.

Sekarang pertanyaannya, bagaimana parameter kontroler yang optimal diperoleh? Seperti pada kasus kontrol proporsional, nilai parameter PI yang optimal itu sendiri pada dasarnya sangat tergantung dari model dan nilai parameter proses yang dikontrol. Tabel 2.4 dan 2.5 berikut berturut-turut memperlihatkan sejumlah metode yang dapat digunakan sebagai *tuning* awal nilai parameter kontrol PI untuk model proses FOPDT dan model proses IPDT.

Tabel 3. 4 Beberapa metode tuning kontrol PI untuk proses FOPDT

Metode	Kp	Ti	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{0,9T}{KL}$	3,33L	Quarter Decay ratio $\frac{L}{T} \leq 1.0$

Chil Regulator 1	$\frac{0,6T}{KL}$	4L	0% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
Chil Regulator 2	$\frac{0,7T}{KL}$	2,33L/K	20% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
Chien Servo 1	$\frac{0,6T}{KL}$	T	0% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
Chien Servo 2	$\frac{0,35T}{KL}$	1,17L	20% overshoot
Astrom-Haglung	$\frac{0,7T}{KL}$	2,3L	Equivalen Ultimated cycleZN
Two Constraints criterion Muril	$\frac{1,928}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,946}$	$\frac{T}{1,078} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,58}$	Quarter Decay ratio $0.11 < \frac{L}{T} < 1.0$
Muril IAE- Muril Regulator	$\frac{0,984}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,986}$	$\frac{T}{0,608} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,70}$	$\frac{L}{T} \leq 3.0$
Muril ITAE- Muril Regulator	$\frac{0,859}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,977}$	$\frac{T}{0.674} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,68}$	$0.11 < \frac{L}{T} < 1.0$
Minimum ISE- Zhuang and	$\frac{1,279}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,945}$	$\frac{T}{0.535} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,58}$	$0.11 < \frac{L}{T} < 1.0$

Atherton	$\frac{0,984}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,986}$	$\frac{T}{0.552} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,43}$	$0.11 < \frac{L}{T} < 2.0$
St Clair	$\frac{0,33T}{KL}$	T	$\frac{L}{T} \leq 3.0$

Tabel 3. 5 Beberapa metode tuning kontrol PI untuk proses IPDT

Metode	Kp	Ti	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{0,9}{K*L}$	3,3L	Quarter Decay Ratio
Tyreus Luyben	$\frac{0,487}{K*L}$	8,75L	Konstanta Waktu loop tertutup= $\sqrt{10}L$
Astrom and Hagglung- regulator	$\frac{0,63}{K^{K*L}L}$	3,2L	Equivalen denganultimated cycle Ziegler-Nichols
Shinkey	$\frac{0,9259}{K^{K*L}L}$	4L	Minimum IAE regulator
Poulin	$\frac{0,5264}{K*L}$	4,58L	Minimum ITAE regulator
Poulin	$\frac{0,9259}{K*L}$	3,88L	Minimum ITAE servo

Dalam menanggapi perubahan *setpoint* tampak *tuning* metode Ziegler-Nichols menghasilkan *overshoot* yang terlalu berlebih. Di sisi lain, ketika terjadi gangguan, metode *tuning* Ziegler-Nichols ini menghasilkan waktu pemulihan yang relatif cepat. Berdasarkan kenyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Ziegler-Nichols cocok digunakan untuk kasus kontrol problem regulator.

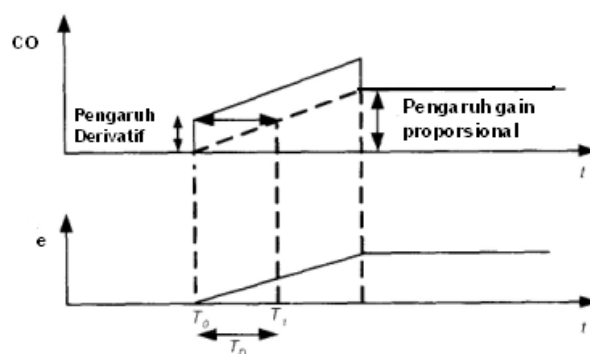
Mode Kontrol Proporsional Derivatif (PD)

Pada modul kontrol PID, Kontrol PD diperoleh dengan cara men-*setting* penguatan integral pada struktur PID sama dengan nol :

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \dots \dots (2.10)$$

Sifat utama dari aksi kontrol PD adalah mendahului sinyal masukan (*error*): Dalam hal ini waktu derivatif (T_d) adalah waktu yang diperlukan sehingga keluaran kontrol proporsional besarnya sama dengan keluaran dari Kontrol derivatif (lihat Gambar 3.17).

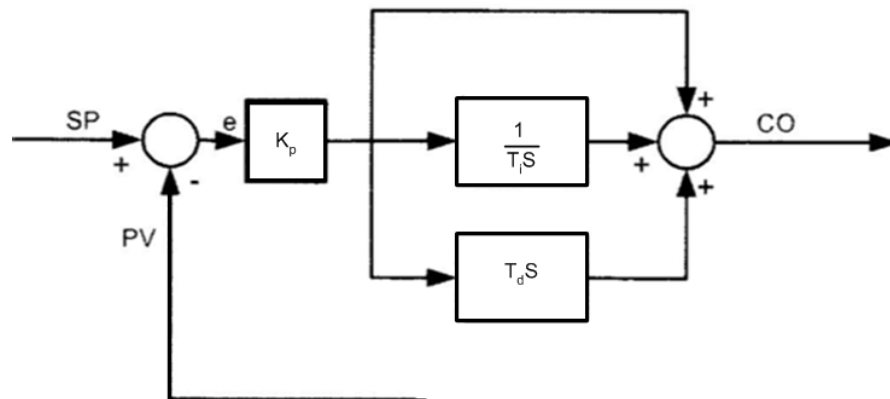
Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi dari kontrol derivatif adalah memperbaiki stabilitas dan mempercepat respon output proses. Namun, penggunaan kontrol PD untuk pengontrolan proses (dalam hal ini model FOPDT) secara praktis jarang digunakan karena mode kontrol PD ini akan selalu menghasilkan *error steady* (kecuali untuk proses-proses yang secara matematis memiliki integrator internal, yaitu seperti model IPDT).



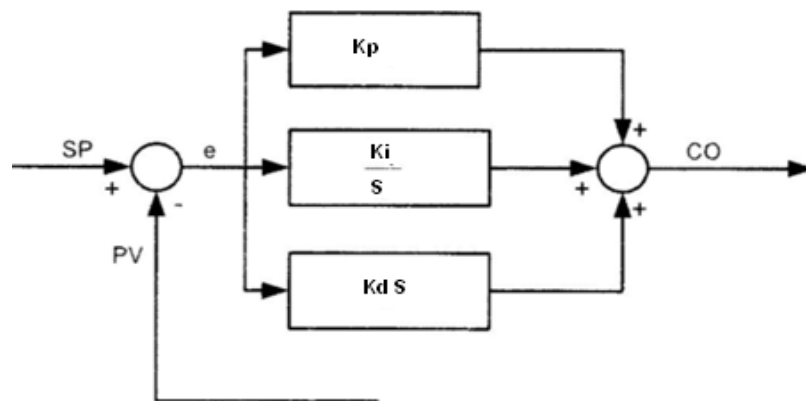
Gambar 3. 18 Aksi kontrol proporsional derivatif

Mode Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID)

Aksi kontrol PID pada dasarnya bertujuan untuk menggabungkan kelebihan komponen-komponen dasar kontrol PID. Kontrol proporsional berfungsi untuk mempercepat respon, Kontrol Integraiberfungsi untuk menghilangkan *errorsteady*, Kontrol derivatif berfungsi untuk memperbaiki sekaligus mempercepat respon transien. Gambar 3.18 dan 2.19 berikut berturut-turut memperlihatkan blok diagram kontrol PID ideal bentuk *dependent* dan bentuk *independent*.

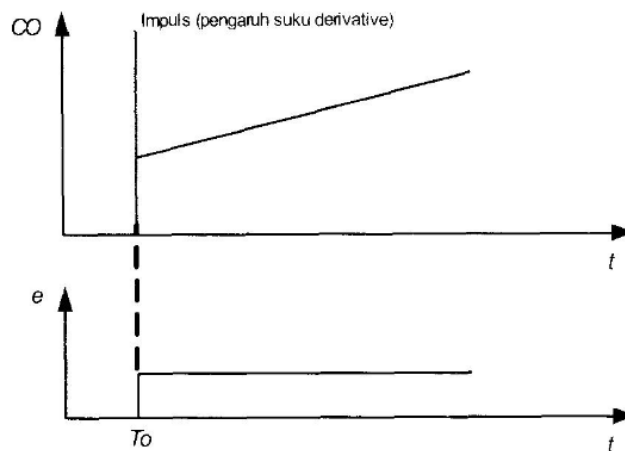


Gambar 3. 19 Diagram blok kontrol PID ideal bentuk dependent



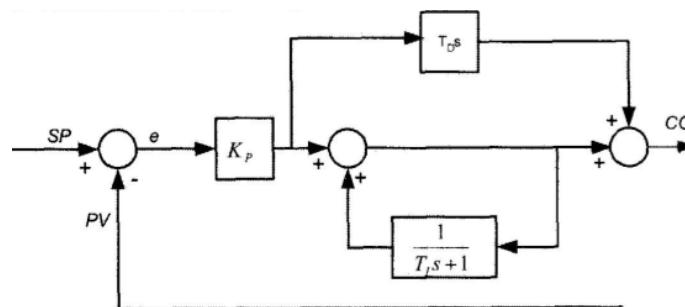
Gambar 3. 20 Diagram blok kontrol PID ideal bentuk independent

Seperti tampak pada Gambar 3.18 dan 2.19 di atas, semua komponen pada kontroler PID jenis ideal ini bekerja pada masukan *error* penggerak. Hubungan antara masukan *error* penggerak dengan output kontroler PID tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3. 21 Aksi kontrol PID

Selain Gambar 3.18 atau Gambar 3.19, kontrol PID ideal juga dapat direalisasikan dengan mengacu pada Gambar 3.21 berikut :



Gambar 3. 22 Diagram blok alternatif kontrol PID

Terkait dengan nilai parameter kontroler yang harus dipilih, tabel 2.6 dan 2.7 di bawah berturut-turut memperlihatkan beberapa metode *tuning* empiris yang dapat digunakan pada pengontrolan model proses FOPDT dan model proses IPDT.

Tabel 3. 6 Beberapa metode tuning kontrol PID ideal untuk proses

Metode	Kp	Ti	Kd	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{1,2T}{KL}$	2L	0,5L	Quarter Decay ratio
Chil	$\frac{0,95T}{KL}$	2,38L	0,42L	0% overshoot

Regulator				$0.11 < \frac{L}{T} < 1$
	$\frac{1,2T}{KL}$	2L	0,42L	20% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
Chien Servo	$\frac{0,6T}{KL}$	T	0,5L	0% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
	$\frac{0,95T}{KL}$	1,36L	0,47L	20% overshoot $0.11 < \frac{L}{T} < 1$
Astrom- Haglung	$\frac{0,94T}{KL}$	2L	0,5L	Equivalen Ultimated cycleZN
Minimum IAE Muril Regulator	$\frac{1,435}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,921}$	$\frac{T}{0,878} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,746}$	$0,482T \left[\frac{L}{T} \right]^{1,13}$	$0.11 < \frac{L}{T} < 1$
	$\frac{3}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,921}$	$\frac{T}{0,878} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,749}$	$0,482T \left[\frac{L}{T} \right]^{1,13}$	
	$\frac{1,435}{K} \left[\frac{T}{L} \right]^{0,945}$	$\frac{T}{01,101} \left[\frac{L}{T} \right]^{0,771}$	$0,56T \left[\frac{L}{T} \right]^{1,006}$	$0.11 < \frac{L}{T} < 1$

Tabel 3. 7 Beberapa metode tuning kontrol PID ideal untuk proses IPDT

Metode	Kp	Ti	Kd	Keterangan
Cluet and Wang	$\frac{0,9588}{K*L}$	3,0425L	0,3912L	Konstanta Waktu loop tertutup=L

	$\frac{0,6232}{K*L}$	5,2586L	0,2632L	Konstanta Waktu loop tertutup=2L
	$\frac{0,466}{K*L}$	7,229L	0,2059L	Konstanta Waktu loop tertutup=3L
	$\frac{0,3752}{K*L}$	9,1925L	0,1702L	Konstanta Waktu loop tertutup=4L
ford	$\frac{1,48}{K*L}$	2L	0,37L	Quarter Decay ratio
Rotach	$\frac{1,21}{K*L}$	1,6L	0,48L	Faktor Redaman Terhadap Gangguan =0,75

Seperti halnya pemilihan metode *tuning* kontrol PI, pemilihan metode *tuning* kontrol PID juga sangat ditentukan oleh problem kontrol yang dihadapi serta unjuk kerja yang diharapkan dari sistem umpan baliknya.

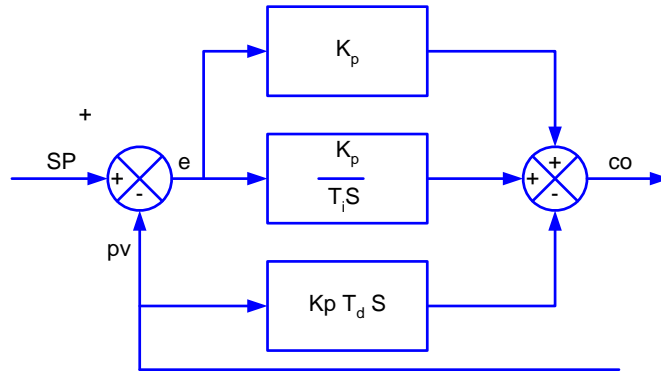
Struktur PID Tipe B

Dalam sejumlah modul PID komersil, struktur PID tipe B dikenal juga dengan nama PID jenis PI-D. Beberapa vendor kontrol PID yang menggunakan algoritma jenis ini di antaranya adalah Allen Bradley dan Emerson. Perbedaan utama antara PID tipe B dengan struktur PID tipe A (PID ideal) hanya terletak pada sinyal input suku derivatifnya saja. Dalam hal ini sinyal input yang diderivatifkan pada PID tipe B bukan sinyal *error*, melainkan output proses (PV) secara langsung (lihat persamaan 2.11 dan diagram bloknya pada Gambar 3.22).

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau - T_D \frac{dPV(t)}{dt} \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

Dalam kawasan *Laplace*, persamaan (2.11) dapat ditulis:

$$CO(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] e(s) - K_p T_d s PV(s) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$



Gambar 3. 23 Struktur PI-D

Secara praktis, struktur kontrol Tipe B ini digunakan untuk menghindari sinyal kontrol keluaran derivatif yang sangat besar (impuls) seperti yang terjadi pada PID ideal sesaat setelah terjadi perubahan *Setting Point* (SP) yang mungkin diberikan (misalnya pada problem Servo). Walaupun demikian, jika yang terjadi adalah perubahan beban atau gangguan, struktur PI-D ini tetap akan menghasilkan perubahan output kontroler yang sangat besar.

Ditinjau dari aspek *tuning* parameter kontrolnya, Anda secara praktis dapat menggunakan metode-metode *tuning* PID ideal seperti yang tercantum pada tabel 2.8 (untuk proses FOPDT) dan tabel 2.9 (untuk proses IPDT).

Tabel 3. 8 Beberapa metode tuning kontrol PI-D untuk proses FOPDT

Metode	K_p	T_i	T_d	Keterangan
Minimum IAE Shinkey	$\frac{1.32T}{K.L}$	$1.80L$	$0.44L$	$\frac{L}{T} = 0.1$
	$\frac{1.32T}{K.L}$	$1.77L$	$0.41L$	$\frac{L}{T} = 0.2$
	$\frac{1.35T}{K.L}$	$1.43L$	$0.41L$	$\frac{L}{T} = 0.5$
	$\frac{1.49T}{K.L}$	$1.17L$	$0.37L$	$\frac{L}{T} = 1$
	$\frac{1.82T}{K.L}$	$0.92L$	$0.32L$	$\frac{L}{T} = 2$
Process Reaction Van Doren	$\frac{1.5T}{K.L}$	$2.5L$	$0.4L$	-

Tabel 3. 9 Salah satu Metode Tuning kontrol PI-D untuk proses IPDT

Metode	K_p	T_i	T_d	Keterangan
Minimum IAE Shinkey	$\frac{1.2821}{K^*.L}$	$1.90L$	$0.46L$	-

Untuk sebuah metode *tuning* PID ideal yang digunakan, respon proses yang dihasilkan oleh kontrol PI-D akan menunjukkan dinamika relatif sama dengan respon sistem kontrol PID idealnya itu sendiri.

Struktur PID Tipe C

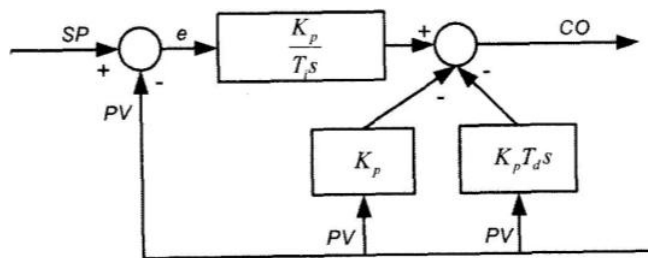
Dalam sejumlah buku teks kontrol, struktur PID tipe C dikenal juga dengan nama struktur I-PD (lihat persamaan 2.14 dan diagram bloknnya pada Gambar 3.23). Struktur kontrol PID tipe ini dapat dijumpai pada salah satu modul kontrol PID komersil produk Emerson. Walaupun jarang digunakan, struktur ini memiliki keunggulan, yaitu menghilangkan sama sekali diskontinuitas pada keluaran sinyal

kontrol akibat perubahan *setpoint* (SP). Dengan menggunakan struktur kontrol ini ketika nilai SP berubah, maka sinyal keluaran kontroler akan berubah secara halus.

$$CO(t) = K_p \left[-PV(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau - T_d \frac{dPV(t)}{dt} \right] \dots\dots\dots(2.13)$$

Dalam kawasan *Laplace*, persamaan 2.13 atas dapat ditulis:

$$CO(s) = K_p \left[-PV(s) + \frac{e(s)}{T_i s} - T_d \cdot s \cdot PV(s) \right] \dots\dots\dots(2.14)$$



Gambar 3. 24 Diagram blok kontroler I-PD

Satu-satunya komponen kontrol yang bekerja pada *error* adalah blok integrator. Ketika terjadi *error* tangga yang disebabkan perubahan *Setpoint* (SP), output integrator akan berubah secara perlahan-lahan. Di lain pihak, output penguat proporsional dan derivatif juga akan berubah secara halus sehingga output kontrol totalnya tidak berubah secara agresif. Walaupun demikian, seperti halnya struktur kontrol PI-D, struktur I-PD ini secara praktis tetap akan menghasilkan perubahan output kontrol yang sangat besar jika yang terjadi adalah perubahan beban atau gangguan.

Terkait dengan metode *tuning*-nya, Tabel 2.10 dan 2.11 di bawah dapat digunakan sebagai basis perhitungan parameter kontrol I-PD untuk model proses FOPDT dan metode IPDT. Tetapi seperti halnya struktur PI-D, Anda juga secara praktis dapat menggunakan metode *tuning* PID ideal untuk mendapatkan parameter-parameter kontroler I-PD ini.

Tabel 3. 10 Salah satu metode tuning kontrol PID tipe C untuk proses FOPDT

Metode	K_p	T_i	T_d	Ket
Minimum ISE-	$\frac{2T+L}{2K.L}$	$T+0.5L$	$\frac{TL}{2T+L}$	-

Argelaguete				
-------------	--	--	--	--

Tabel 3. 11 Salah satu metode tuning kontrol PID tipe C untuk proses IPDT

Metode	K_p	T_i	T_d	Ket
Minimum ISE- Argelaguete	$\frac{1,414T_d + L}{K^*(T_d^2 + 0.707T_dL + 0.25L^2)}$	$\frac{1,414T_d}{+ L}$	$\frac{0.25L^2 + 0.707T_dL}{1.414T_d + L}$	L $< 0.2T_d$

Struktur PID Serial

Tidak seperti struktur-struktur PID yang telah dijelaskan sebelumnya, struktur PID serial ini terdiri atas komponen-komponen kontrol yang disusun secara serial. Berdasarkan kenyataan di lapangan, dapat dikatakan bahwa struktur PID serial kurang begitu populer dibandingkan struktur-struktur PID jenis paralel. Walaupun demikian, beberapa modul kontroler PID komersil masih menawarkan struktur serial sebagai salah satu basis algoritma kontrolnya (di antaranya modul kontrol PID produk Foxboro).

Persamaan (2.15) berikut memperlihatkan struktur PID serial:

$$CO(t) = K_p \left[e_1(t) + \frac{1}{T_i} \int e_1(t) dt \right] \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

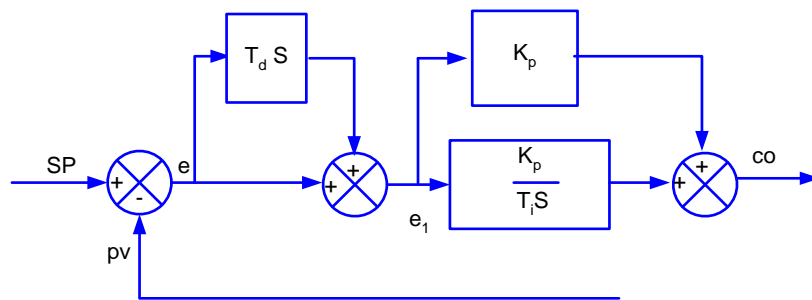
$$e_1(t) = e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dalam kawasan *Laplace*, struktur PID serial dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.16) berikut:

$$CO(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) (1 + T_D s) e(s) \dots\dots\dots(2.17)$$

Berdasarkan persamaan (2.17), terlihat bahwa jika penguat diferensial (T_d) di-*setting* sama dengan nol, persamaan (2.17) di atas akan memiliki relasi yang sama dengan sistem kontrol PI reguler).

Jika digambarkan dalam bentuk diagram blok-nya, PID serial ini akan tampak seperti pada Gambar 3.24.



Gambar 3. 25 Blok PID Serial

Karena struktur kontrol PID serial relatif berbeda dengan struktur-struktur kontrol PID jenis paralel, maka terkait dengan masalah tuning parameter kontrolnya, Anda secara praktis tidak dapat menggunakan metode-metode *Tuning* yang telah disajikan sebelumnya. khusus untuk PID serial, terdapat dua metode *Tuning* populer yang *dapat* digunakan sebagai *tuning* awal kontrol proses FOPDT, yaitu metode Ziegler-Nichols dan Astrom-Haglung seperti terlihat pada tabel 2.12.

Tabel 3. 12 Beberapa metode tuning kontrol PID serial untuk proses FOPDT

Metode	Kp	Ti	Td	Keterangan
Ziegler-Nichols	$\frac{0.6T}{K.L}$	L	L	
Astrom-Haglung	$\frac{5T}{6K.L}$	1,5L	0,25L	Foxboro EXACT

Fitur Penting pada Sistem Kontrol PID Komersil

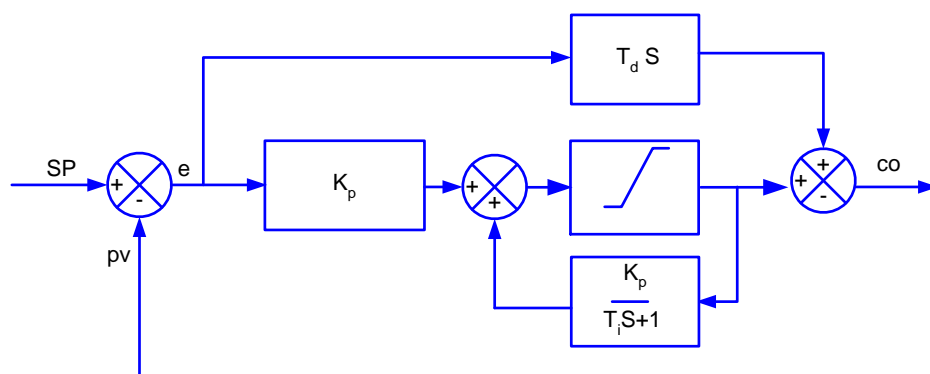
Dua buah fitur penting yang umumnya dijumpai pada modul kontrol PID komersil adalah sebagai berikut:

1. *Anti-Windup* kemampuan kontroler untuk mengatasi phenomena yang dikenal dengan istilah *WindUp*.
2. *BumpLess Transfer* kemampuan kontroler untuk beralih mode kontrol tanpa menimbulkan hentakan sinyal kontrol.

WindUp dan Cara Mengatasinya

WindUp adalah sebuah fenomena yang disebabkan oleh terjadinya saturasi pada penggerak. Saturasi dapat terjadi karena beban yang dikontrol sudah di luar kemampuan penggerak. Jika kontroler tidak memiliki *Anti-Windup*, dengan terjadinya beban berlebihan, output integrator pada kontroler PID akan terus-menerus membesar (*WindUp*). Di sisi lain, pembesaran output tersebut tidak dapat lagi mengubah posisi penggerak karena telah saturasi. Jika misalnya pada satu saat beban yang dikontrol kembali normal, output kontroler akan memerlukan waktu yang relatif lama untuk menuju nilai nominalnya kembali.

Untuk menghindari fenomena tersebut, dalam kontroler-kontroler komersil umumnya telah dipasang *Anti-Windup*. Gambar 3.25 memperlihatkan salah satu struktur PID yang telah dilengkapi *Anti-Windup*.

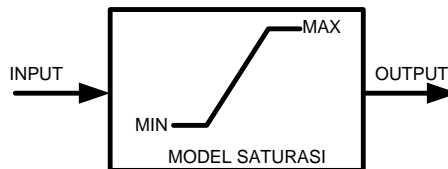


Gambar 3. 26 Diagram blok kontrol PID dengan *Anti-Windup*

Seperti terlihat pada Gambar 3.25, *anti-Windup* ini pada dasarnya adalah sebuah model (saturasi) penggerak yang dipasang pada sisi umpan maju kontroler. Batas saturasi model penggerak biasanya disetting pada batas sayurasi dari penggerak aslinya. Namun untuk kepentingan keamanan operasi pengontrolan, batas tersebut dapat juga di-setting lebih kecil dari nilai saturasi penggeraknya.

Penting Untuk Diketahui

Model saturasi adalah sebuah model *nonlinear* seperti yang terlihat pada Gambar 3.26.



Gambar 3. 27 Diagram blok model saturasi.

Hubungan input-output model ini secara logika dapat ditulis:

If (input ≤ MIN) output = MIN

If (input ≥ MAX) output = MAX

Model saturasi pada dasarnya dapat saja menggambarkan hubungan input-output komponen kontrol *valve*. Dalam hal ini batas saturasi MIN artinya *valve* tertutup penuh. Sedangkan batas saturasi MAX artinya kondisi *valve* terbuka penuh, jika sinyal kontrol dari output kontroler nilainya memiliki jangkauan ternormalisasi antara 0-100%, *valve* akan berada dalam saturasi MIN jika output kontroler bernilai 0% atau kurang *valve* akan berada dalam batas saturasi MAX jika output kontroler bernilai 100% atau lebih

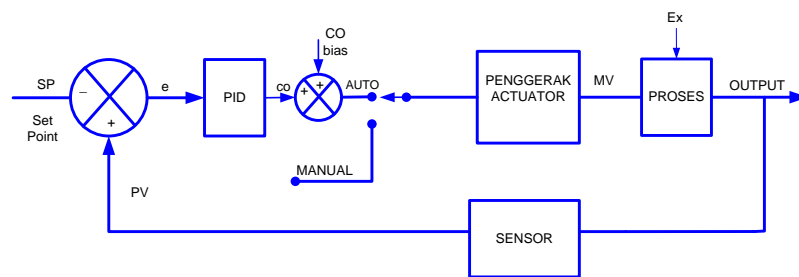
BumpLess Transfer

Seperti yang telah dibahas sekilas pada Catatan Penting tentang Mode Kontrol pada Modul PID Komersil, modul PID komersil umumnya menyediakan minimal dua mode pengontrolan yang dapat digunakan secara bebas oleh operator, yaitu mode manual dan mode auto. Mode manual adalah pengontrolan dengan menggunakan prinsip *open loop* di mana besarnya output kontroler CO diatur oleh operator. Sedangkan mode auto (PID) adalah pengontrolan dengan menggunakan prinsip *closed loop* di mana kontroler bekerja berdasarkan *error*. Tergantung kondisi operasi, perubahan mode kontrol dari Manual ke Auto atau sebaliknya adalah hal yang lumrah dilakukan oleh operator. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan pada saat peralihan mode adalah perbedaan nilai sinyal kontrol awal antara output kontrol PID (Auto) dan output kontrol

manual. Jika satu saat ,misalnya operator mengubah mode dari manual ke auto, bisa saja terjadi hentakan sinyal kontrol yang disebabkan oleh perbedaan sinyal kontrol awal tersebut.

Untuk menghindari hal di atas, maka pada saat peralihan mode, output kontrol PID dalam modul komersil umumnya akan diinisialisasi dengan nilai sinyal kontrol manual yang sebelumnya telah di-*setting* oleh operator. Sementara itu, nilai *Setpoint*SP biasanya diinisialisasi dengan nilai output proses PV yang terbaca pada saat itu. Dalam buku manual peralatan, hal tersebut dikenal dengan istilah *BumpLess Transfer*.

Dalam blok kontrol PID, nilai inisialisai awal tersebut secara teknis akan disimpan sebagai kontrol bias (CO_{bias}) seperti tampak pada Gambar 3.27.



Gambar 3. 28 Sinyal kontrol bias pada modul PID

Dengan mengacu pada Gambar 3.27 di atas, output kontrol PID pada dasarnya dapat ditulis secara lengkap dengan mencantumkan sinyal kontrol bias secara eksplisit. Sebagai contoh, jika struktur PID yang digunakan adalah struktur ideal, output kontrol PID lengkapnya dapat ditulis:

$$CO(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + CO_{bias} \quad \text{.....(2.18)}$$

Perhatikan, jika sinyal kontrol bias pada modul PID dapat dimanipulasi oleh operator pada saat pengontrolan sedang berjalan, maka penggunaan kontrol bias tersebut selain sangat penting pada saat peralihan mode kontrol (yaitu untuk merealisasikan *BumpLess Transfer*), juga bermanfaat menghilangkan *offset* yang mungkin terjadi pada saat pengontrolan sedang berjalan. Kasus ini terjadi misalnya jika proses self regulating dikontrol dengan menggunakan komponen proporsional saja.

Autotuning

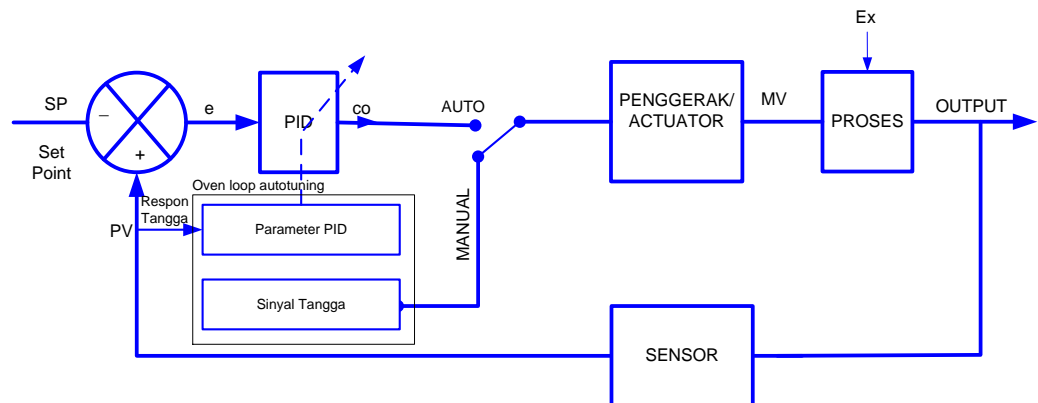
Sejalan dengan perkembangan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak yang begitu luar biasa, dewasa ini sejumlah besar modul PID yang beredar di pasaran umumnya telah dilengkapi dengan beberapa kemampuan pendukung tambahan di luar fungsi dasar yang telah menjadi standar sebuah kontrol PID komersil. Salah satu di antara kemampuan penting yang dapat dijumpai adalah *Autotuning*. Dalam beberapa buku manual, *Autotuning* ini dikenal juga dengan nama *self-tuning* atau *pre-tuning*, yaitu kemampuan modul untuk mengubah setting parameter PID secara otomatis.

Untuk modul PID ukuran kecil atau modul PID jenis *special process controller*, fasilitas *Autotuning* diaktifkan umumnya lewat penekanan tombol yang disediakan pada modul. Untuk modul PID ukuran besar atau modul PID pada sistem PLC, fasilitas *Autotuning* tersebut diaktifkan lewat *console* atau perangkat lunak yang berjalan di komputer. Contoh GUI (*Grafical User Interface*) pada perangkat lunak DirectSoft yang menyediakan fasilitas pengaktifan *Autotuning* untuk PLC merk DirectLogic.

Terkait dengan *Autotuning*, saat ini banyak dijumpai juga perangkat lunak komputer independen yang dikhususkan untuk melakukan *tuning* parameter kontroler pada beragam modul PID dari vendor yang berbeda. Salah satu kelebihan yang ditawarkan oleh perangkat lunak tersebut adalah penggunaan berbagai metode *tuning* optimal yang disesuaikan dengan karakteristik proses yang teridentifikasi.

Autotuning Metode Respon Transien. Metode *Autotuning* respon transien adalah metode *tuning* yang berbasiskan eksperimen *bump test*. Hanya saja, dalam metode *Autotuning* ini, identifikasi parameter proses beserta kalkulasi parameter kontrolnya dilakukan secara otomatis oleh modul kontroler atau komputer.

Secara praktis metode *Autotuning* ini hanya dapat digunakan untuk proses-proses yang bersifat *self regulating* saja, misalnya model proses FOPDT. Hal tersebut disebabkan mode kontroler yang digunakan pada saat *Autotuning* berjalan adalah mode manual atau *open loop* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.28.



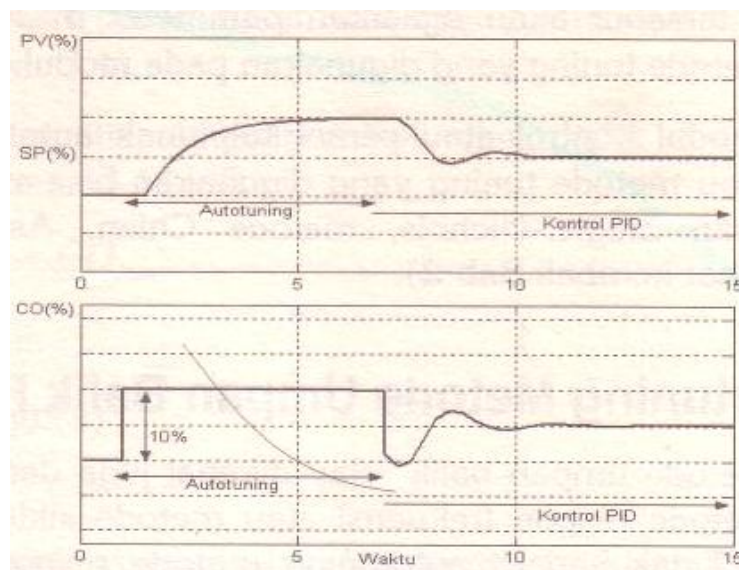
Gambar 3. 29 ilustrasi metode *autotuning* respon transien

Seperti halnya prosedur pelaksanaan eksperimen *bump test*, langkah awal yang harus dilakukan untuk menjalankan *Autotuning* ini adalah membawa output proses PV ke daerah sekitar titik kerja yang diharapkan (*Setpoint SP*) terlebih dulu. Hal ini dapat dilaksanakan dengan cara mengatur besar sinyal kontrol CO secara manual oleh operator. Setelah PV mengalami *steady* (menetap)-c. Daerah nominalnya, proses *autotuning* tersebut dapat dimulai.

Tergantung modul kontrol PID yang digunakan, nilai perubahansinyal kontrol (sinyal *step*) yang diinduksikan pada saat *Autotuning* dijalankan umumnya berkisar antara 5%-10%. Untuk banyak kasus, perubahan nilai tersebut pada dasarnya sudah dapat menyebabkan respon proses mengalami deviasi output yang dapat - terukur. Walaupun secara teoritis besar nilai *setpoint* (SP) tidak mempengaruhi jalannya proses *autotuning* karena *autotuning* berjalan ada mode manual, tetapi secara teknis nilai SP dalam modul kontrol umumnya terlebih dulu harus di-setting pada kisaran yang tidak jauh dari nilai PV saat *autotuning* akan dimulai. Hal ini disebabkan setelah proses *autotuning* selesai, mode kontrol secara otomatis akan berubah menjadi mode auto dengan nilai *Setpoint* yang telah di-setting tersebut. Gambar 3.29 memperlihatkan ilustrasi hubungan sinyal kontrol dengan variabel proses setelah *autotuning* dijalankan.

Seperti tampak pada Gambar 3.29, sesaat setelah *autotuning* diaktifkan, secara otomatis kontroler akan menginduksikan perubahan sinyal output kontroler (dalam gambar tersebut besarnya 10% dari nilai output kontrol *steady* awalnya).

Dengan menganggap proses yang dikontrol memiliki model FOPDT jenis *direct*, maka perubahan output kontrol ini akan menyebabkan output proses mengalami deviasi positif dari nilai sebelumnya. Secara teknis, perubahan output proses akan selalu dimonitor oleh kontroler. Jika satu saat tidak terjadi lagi perubahan output proses (output proses telah mencapai keadaan *steady* yang baru), modul kontrol akan menghitung/mencari parameter proses yang teridentifikasi (L,T dan K). Nilai parameter proses yang teridentifikasi tersebut akan dijadikan parameter masukan pada perumusan metode *Tuning* yang digunakan pada modul.



Gambar 3. 30 Hubungan sinyal kontrol (CO) us uariabel proses (PV) setelah fasilitas *Autotuning* dijalankan.

Autotuning Metode Umpan Balik Relay, *Autotuning* metode umpan balik relay dikenal juga dengan nama *autotuning* metode respon frekuensi atau metode siklus terbatas (*limit cycle*). Tidak seperti *autotuning* metode respon *transien*, *autotuning* metode umpan balik relay secara praktis dapat dilakukan baik untuk proses yang bersifat *self regulating* maupun proses *non-self regulating*.

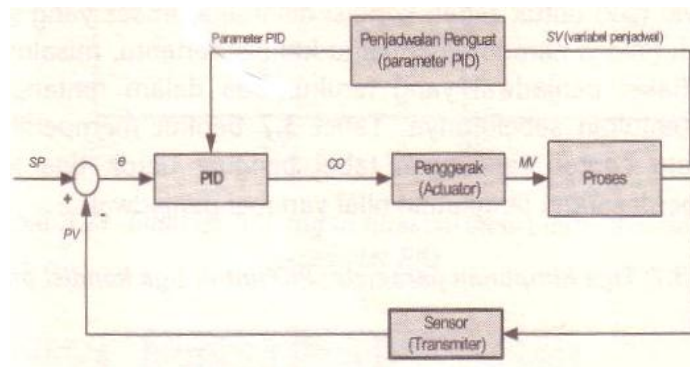
Prinsip kerja metode *autotuning* ini pada dasarnya bertumpu pada informasi periode dan besar magnituda osilasi output proses yang pasti terjadi pada titik kerjanya saat proses dikontrol dengan menggunakan metode kontrol umpan balik relay.

Kontrol umpan balik relay atau kontrol *ON-OFF* adalah sebuah metode kontrol di mana output kontroler hanya memiliki dua kondisi saja, yaitu maksimum atau minimum. Berdasarkan prinsip kerjanya, penggunaan kontrol relay ini secara praktis ditujukan agar variabel proses yang dikontrol secepat mungkin menuju level operasi yang diharapkan yaitu dengan cara menginduksikan sinyal kontrol maksimum atau minimum tergantung dari selisih antara *setpoint* (SP) dengan variabel yang dikontrol (PV).

Jika output proses yang dikontrol tidak dituntut untuk sama persis dengan nilai *setpoint*, kontrol umpan balik relay ini pada dasarnya sudah cukup memadai digunakan sebagai basis pengontrolan variabel proses karena selain prinsip kerjanya yang sederhana sistem kontrol ini juga relatif "stabil". Agar output proses yang dikontrol selalu berada di sekitar titik kerja (*setpoint*), maka secara praktis pada output relay ini diperlukan tambahan sinyal kontrol bias yang besarnya harupat diatur oleh operator

Gain scheduling

Gain scheduling adalah sebuah metode kontrol di mana besar parameter PID yang digunakan oleh modul kontrol dijadwal berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi yang dihadapi. Agar setiap saat kontroler mengetahui kondisi proses, maka dalam skema kontrol ini diperlukan pengukuran variabel tambahan (*auxiliaries variable*) yang secara teknis digunakan sebagai variabel penjadwal (*scheduledvariable*) seperti terlihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3. 31 Diagram Blok Sistem Kontrol *Gain scheduling*

Variabel *auxiliary* yang akan dijadikan variabel penjadwal pada dasarnya harus berkorelasi atau berhubungan dengan titik kerja atau kondisi proses yang dikontrol. Variabel tersebut dapat saja berupa output prosesnya itu sendiri atau variabel input lain yang secara langsung mempengaruhi dinamika proses.

Dalam bentuknya yang sederhana, metode kontrol *gain scheduling* ini dapat direalisasikan dalam sebuah *look up table* yang berisi himpunan parameter PID untuk berbagai kondisi yang mungkin terjadi selama pengontrolan proses berlangsung. Tabel 2.13 berikut memperlihatkan ilustrasi tabel penjadwal pada skema kontrol *gain scheduling*.

Tabel 3. 13Himpunan parameter PID untuk berbagai kondisi proses

	Kp	Ti	Td
Kondisi 1	Kp1	Ti1	Td1
Kondisi 2	Kp2	Ti2	Td2
Kondisi -	Kp-	Ti-	Td-
Kondisi n	Kpn	Tin	Tdn

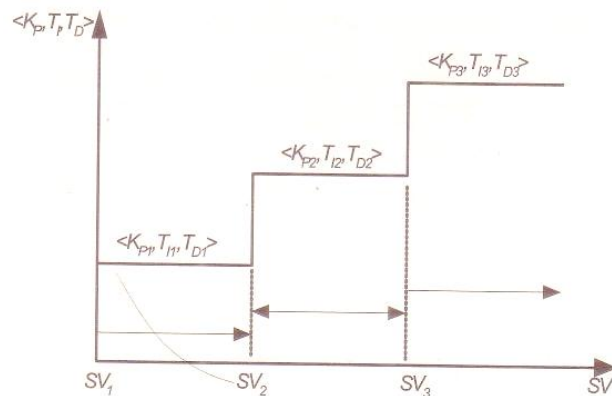
Kondisi-kondisi yang mencerminkan dinamika proses secara praktis dapat diketahui secara langsung dari nilai variabel *auxiliary* atau variabel penjadwal yang terukur sensor. Dalam perancangan awai, Anda terlebih dulu harus menentukan jangkauan nilai variabel penjadwal (SV) untuk setiap kondisi dinamika proses yang sedang

dihadapi: Proses berada dalam satu kondisi tertentu, misalnya jika nilai variabel penjadwal yang terukur ada dalam rentang yang telah ditentukan sebelumnya. Tabel 2.14 berikut memperlihatkan salah satu contoh rancangan tabel penguat untuk tiga kondisi proses berdasarkan jangkauan nilai variabel penjadwal.

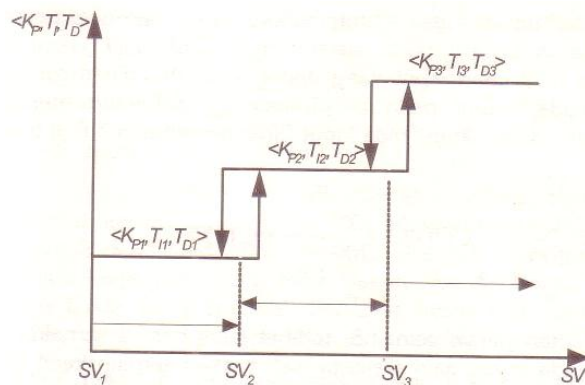
Tabel 3. 14 Tiga himpunan parameter PID untuk tiga kondisi proses

	Kp	Ti	Td
Kondisi 1: SV1<SV<SV2	Kp1	Ti1	Td1
Kondisi 2: SV2<SV<SV3	Kp2	Ti2	Td2
Kondisi n: SV>SV3	Kpn	Tin	Tdn

Berdasarkan tabel rancangan penguat tersebut, tampak bahwa jika satu saat variabel penjadwal (SV) yang terukur nilainya diantara SV_1 dan SV_2 maka parameter PID yang digunakan oleh kontroler berturut-turut adalah K_{p1} , T_{i1} , dan T_{d1} . Sedangkan jika nilai variabel penjadwal berada di antara SV_2 dan SV_3 , maka parameter PID yang digunakan berturut-turut K_{p2} , T_{i2} , dan T_{d2} . Demikian seterusnya. Dalam bentuk grafik, Tabel 2.14 di atas dapat diilustrasikan oleh Gambar 3.31 berikut :



Gambar 3. 32 Ilustrasi hubungan nilai variabel penjadwal dengan parameter PID



Gambar 3. 33 Penggunaan histeris pada variable penjadwal

Karena dalam pengukuran variabel penjadwal secara praktis akan selalu menghasilkan derau, maka untuk menghindari peralihan parameter kontrol yang disebabkan oleh derau tersebut, dalam perancangan awal perlu ditambahkan histerisis pada setiap peralihan parameter seperti ditunjukkan pada Gambar 3.32.

Contoh Soal dan Penyelesaian

Tuning PID untuk model kontrol proses FOPDT

Diketahui sebuah proses FOPDT dengan fungsi alih sebagai berikut :

$$pv = \frac{1.5}{1.2s + 1} e^{-s} \cdot co(s) + \frac{1}{1.2s + 1} e^{-0.5} \cdot d(s)$$

Jika proses tersebut akan dikontrol dengan PID struktur ideal, carilah parameter kontrolnya berdasarkan metode-metode *Tuning* berikut :

- Metode Ziegler Nichols

b. Metode Astrong Haglung

Penyelesaian :

Untuk mendapatkan konstanta-konstanta kontroler PID tersebut, model proses yang perlu diketahui untuk perhitungan hanyalah model proses yang merealisasikan antara perubahan sinyal kontrol co terhadap perubahan sinyal kontrol output proses pv (model gangguan atau pengaruh gangguan d terhadap perubahan output proses pv pada dasarnya tidak relevan dalam perhitungan konstanta PID)

$$pv = \frac{1.5}{1.2s + 1} e^{-s} \cdot co(s)$$

Dengan $K = 1.5$

$$T = 1.2$$

$$L = 1$$

a. Metode Ziegler Nichols

$$K_p = \frac{1.2T}{KL} = \frac{1.2 \times 1.2}{1.5 \times 1} = 0.96$$

$$T_i = 2L = 2 \times 1 = 2$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 1 = 0.5$$

b. Metode Astrong Haglung

$$K_p = \frac{0.94T}{KL} = \frac{0.94 \times 1.2}{1.5 \times 1} = 0.75$$

$$T_i = 2L = 2 \times 1 = 2$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 1 = 0.5$$

Tuning PID untuk model kontrol proses IPDT

Berikut adalah persamaan dinamika sistem pengontrolan level fluida dalam tangki dengan menggunakan penggerak pompa disekitar titik kerjanya.

$$H(s) = \frac{pv(s)}{co(s)} = \frac{-0.015e^{-0.1s}}{s}$$

Jika proses tersebut akan dikontrol menggunakan kontrol PI :

Carilah besar parameter yang harus di-*Tuning* berdasarkan metode Shinsky

Tentukan mode kontroler yang harus digunakan untuk proses tersebut serta gambar pula diagram blok kontrolernya.

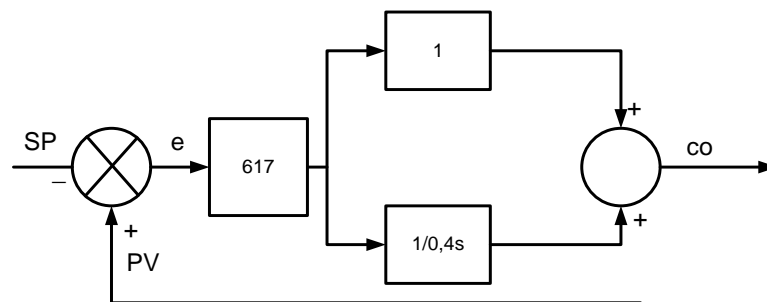
Penyelesaian:

Berdasarkan metode *Shinkey* dapat dihitung :

$$K_p = \frac{0,9259}{K \cdot L} = \frac{0,9259}{0,015 \times 0,1} = 617$$

$$T_i = 4L = 4 \times 0,1 = 0,4$$

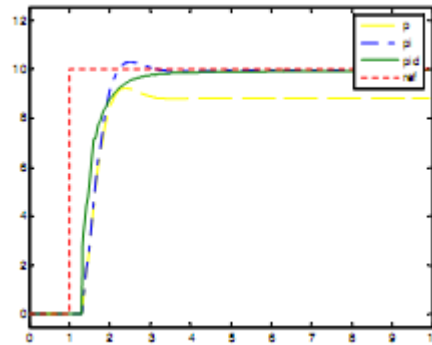
Berdasarkan persoalan diketahui bahwa proses tersebut pada dasarnya bersifat *reverse* (tanda gain integratif bersifat negatif) sehingga mode kontroler yang harus digunakan adalah mode *direct*. Secara fungsional, mode ini dapat diilustrasikan seperti tampak pada Gambar 3.33.



Gambar 3. 34 Diagram Blok kontroler

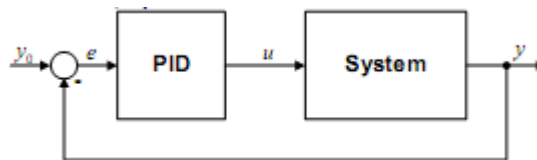
Diskrit PID

Ketika bekerja dengan aplikasi dimana kontrol dari keluaran sistem akibat dari perubahan dari nilai referensi atau keadaan yang diperlukan, penerapan algoritma kontrol mungkin diperlukan, sebagai contoh kontrol motor, kontrol temperatur, tekanan, aliran, kecepatan, gaya, tegangan dan lain-lain. Kontrol PID dapat digunakan untuk mengendalikan beberapa variabel yang terukur sepanjang variabel tersebut dapat dipengaruhi oleh manipulasi beberapa variabel proses yang lain. Sampai saat ini Banyak penyelesaian kontrol telah dipakai, tetapi kontrol PID telah menjadi standar industri karena sederhana dan kinerja yang baik.



Gambar 3. 35 Respon regulasi PID terhadap input step/fungsi tangga.

Pada Gambar 4.35 di bawah ditunjukkan rangkaian skematik sistem dengan kontrol PID . kontrol PID membandingkan nilai proses yang diukur y dengan nilai referensi *Setpoint*, y_0 . Perbedaannya atau *error* , e , diproses untuk menghitung input proses baru, u . Input ini akan mencoba mengatur nilai proses yang diukur kembali ke *Setpoint* yang diinginkan. Pilihan lain dari kontrol loop tertutup adalah kontrol loop terbuka. Kontrol loop terbuka (tanpa umpanbalik) dalambanyak kasus tidak cocok, dan tidak memungkinkan dikarenakan sifat dari sistem itu sendiri. Dengan menambah umpan balik dari output sistem, kinerja sistem dapat diperbaiki.

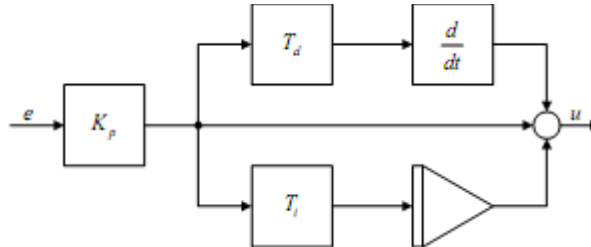


Gambar 3. 36 Sistem Loop tertutup dengan umpan balik

Tidak seperti algoritma kontrol sederhana, Kontrol PID mampu memanipulasi input-input proses yang didasari pada sinyal sebelumnya dan laju perubahan sinyal, sehingga kontrol ini memberikan metoda kontrol yang stabil dan akurat.

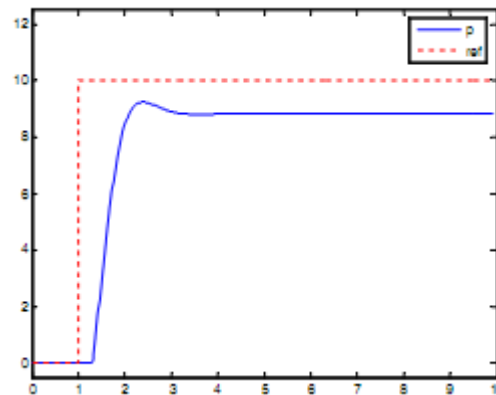
Ide dasarnya adalah bahwa kontrol membaca keadaan sistem oleh sensor. Hasil pengukuran Sensor ini kemudian dikurangi dengan tegangan referensi *Setpoint* untuk mendapatkan nilai *error*. *Error* ini akan dikelola dengan tiga cara untuk menangani keadaan sekarang melalui kontrol proporsional, yaitu mampu memperhatikan kondisi masa lalu, menggunakankontrol integrator, mampu mengantisipasi kemungkinan yang akan datang melalui kontrol derivatif. Gambar 2.36 menunjukkan skematik

kontrol PID, dengan T_p , T_i dan T_d sebagai konstanta waktu dari proporsional, integral dan diferensial secara berurutan.



Gambar 3. 37 Skema Kontrol Diskrit PID

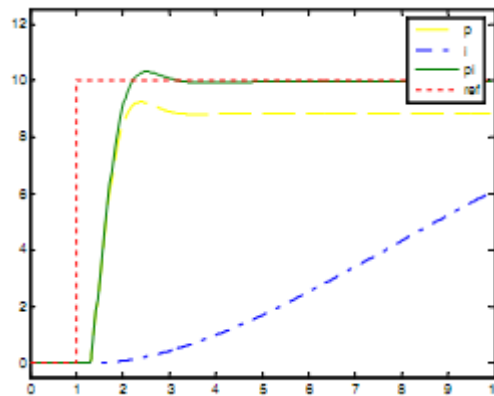
Kontrol proporsional memberikan input kontrol sistem besarnya proporsional dengan *error*. Dengan hanya menggunakan kontrol P akan memberikan *error* yang statis atau selalu ada *error* dalam setiap kasus kecuali ketika input kontrol sistem sama dengan nol dan nilai proses sistem samadengan nilai yang diinginkan. Pada grafis diperlihatkan *error* stasioner pada nilai proses sistem tampak setelah perubahan pada nilai yang diinginkan (ref). Dengan nilai P yang terlalu besar menghasilkan ketidakstabilan sistem.



Gambar 3. 38 Respon tangga untuk kontrol P

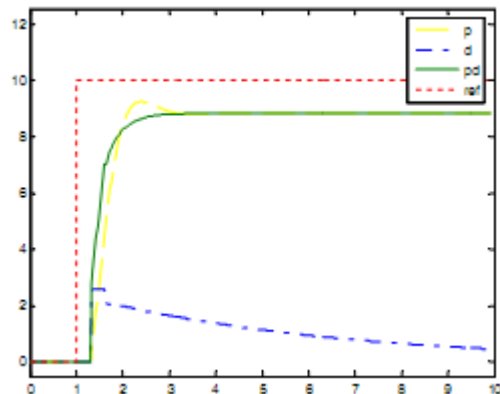
Kontrol integral memberikan tambahan bentuk penjumlahan dari *error* sebelumnya terhadap input kontrol sistem. Penjumlahan *error* akan terus-menerus sampai nilai sistem proses sama dengan nilai ref yang diinginkan dan menghasilkan tidak ada *error* stasioner ketika referensi stabil. Umumnya penggunaan integrator dilakukan bersama kontrol proporsional. Yang disebut kontrol PI. Jika hanya menggunakan kontrol integrator menghasilkan respon yang lambat dan sering membuat sistem berosilasi.

Gambar 3.38. menunjukkan respon kontrol I dan PI. Seperti terlihat respon PI tidak memiliki *error* stasioner dan kontrol I memiliki respon yang sangat lambat.



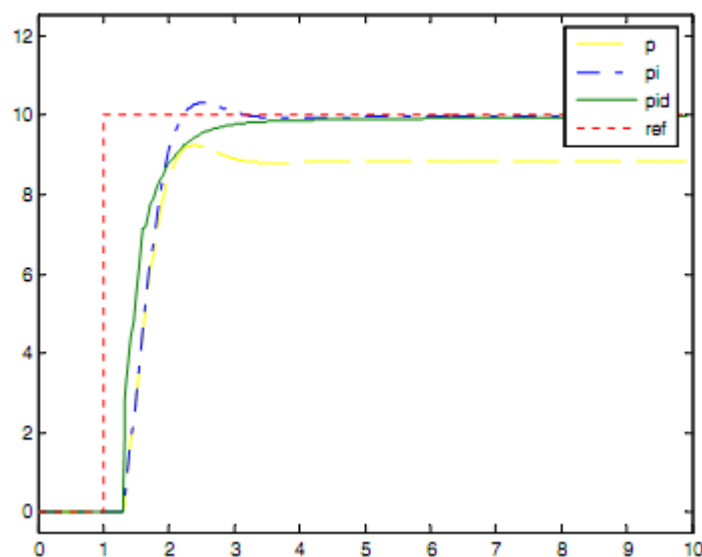
Gambar 3. 39 Respon I dan PI terhadap fungsi Step

Kontrol derivatif memberi tambahan bentuk laju perubahan *error* terhadap input kontrol sistem. Perubahan yang cepat pada *error* akan memberikan tambahan pada input kontrol sistem. Ini memperbaiki respon terhadap perubahan yang cepat terhadap keadaan sistem atau nilai referensi. Kontrol D umumnya digunakan bersama P sebagai PI atau PI sebagai kontrol PID. Terlalu besar D menghasilkan sistem yang tidak stabil. Respon kontrol PD memberikan nilai proses sistem yang lebih cepat dibanding kontrol P. Sebagai catatan kontrol D berfungsi sebagai filter pelewat frekuensi tinggi pada sinyal *error* dan mudah mengawali sistem menjadi tidak stabil dan sangat sensitif terhadap *nois*.



Gambar 3. 40 Grafik kontroler PD

Menggunakan kontrol bersama sebagai kontrol PID biasanya memberikan kinerja yang lebih baik. Gambar 3.40. membandingkan kontrol P, PI, PD, PID. Pada PI akan memperbaiki P dengan menghilangkan *error* stasioner, dan PID memperbaiki PI dengan respon yang lebih cepat dan tidak ada *overshoot*.



Gambar 3. 41 Grafik kontroler PID

Kontroller PID diskrit akan membaca *error*, menghitung dan mengeluarkan kontrol pada interval waktu yang diberikan, pada perioda sampel T. Waktu sampel ini harus kurang dari konstanta waktu terpendek dari sistem tersebut. Kontrol PID mampu memanipulasi input-input proses didasari pada sinyal sebelumnya dan laju perubahan sinyal, sehingga kontrol ini memberikan metoda kontrol yang stabil dan akurat.

Gambar 3.46. di atas menunjukkan skema kontrol PID , dimana T_p , T_i dan T_d merupakan konstanta waktu dari proporsional, integral dan derivatif secara berurutan. Fungsi Transfer dari sistem pada Gambar 3.40. adalah:

$$\frac{u}{e}(s) = H(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{.....(2.19)}$$

Ini memberikan persamaan u dari e pada domain waktu

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\sigma) d\sigma + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad \text{.....(2.20)}$$

Pendekatan integral dan diferensial untuk mendapatkan bentuk digital menggunakan:

$$\int_0^t e(\sigma) d\sigma \approx T \sum_{k=0}^n e(k) \quad \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad t = nT \quad \text{.....(2.21)}$$

Dengan n adalah step diskrit pada waktu t.

Ini menghasilkan kontroller :

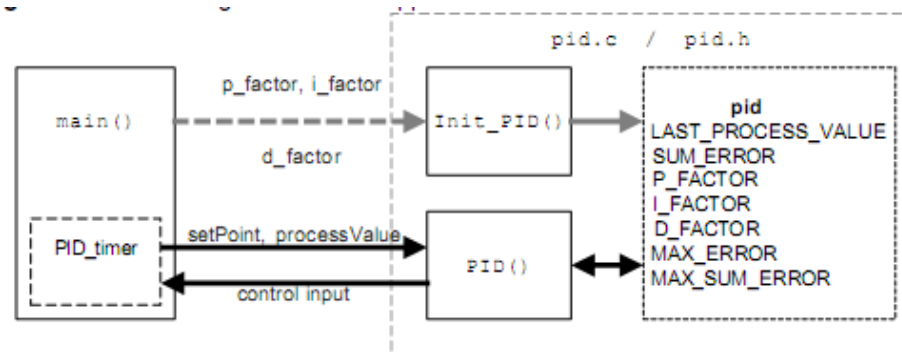
$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d (e(n) - e(n-1)) \quad \text{.....(2.22)}$$

Dengan

$$K_i = \frac{K_p T}{T_i} \quad K_d = \frac{K_p T_d}{T} \quad \text{.....(2.23)}$$

Untuk menghindari perubahan nilai proses yang diinginkan membuat perubahan secara cepat yang tidak diinginkan pada input kontrol, kontroler diperbaiki dengan hanya menggunakan derivative dari nilai proses.

$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d (y(n) - y(n-1)) \quad \text{.....(2.24)}$$



Gambar 3. 42 Diagram blok kode program Diskrit PID

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

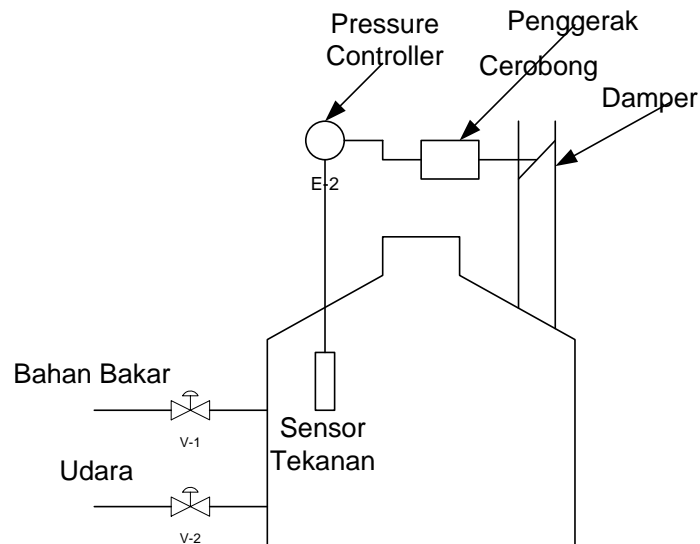
Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Kontrol PID? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-2.1**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1

1. Jelaskan prinsip kerja dari sistem pengontrolan tekanan pada sebuah reaktor seperti tampak pada gambar di bawah dan gambarkan pula diagram bloknnya?



Gambar 3. 43 Sistem regulasi Tekanan Uap

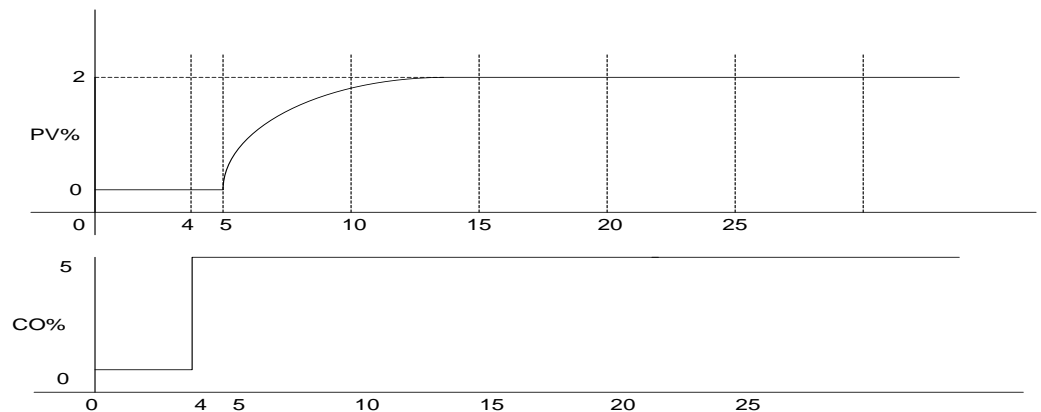
Aktivitas 2

1. Jika Diketahui sebuah proses FOPDT dengan fungsi alih sebagai berikut :

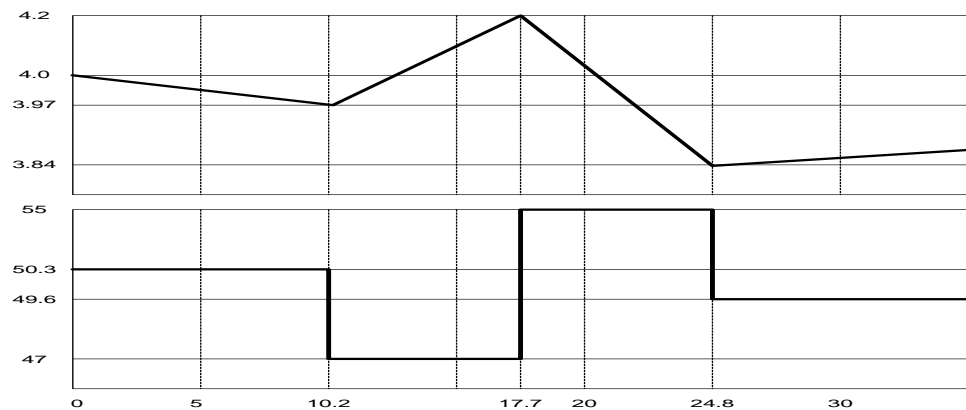
$$pv = \frac{1.2}{1.5s + 2} e^{-s} \cdot co(s) + \frac{1}{1.7s + 1} e^{-0.5} \cdot d(s)$$

Jika proses tersebut akan dikontrol dengan PID struktur ideal, carilah parameter-parameter kontrolnya berdasarkan metode-metode *Tuning Ziegler* Nichols berikut :

- a. untuk kontrol P
 - b. untuk kontrol PI
 - c. untuk kontrol PID.
2. Berdasarkan grafik pada Gambardi bawah, carilah konstanta waktu proses berdasarkan *slope* maksimum respon transien.



3. Gambar di bawah ini memperlihatkan hasil experiment bump test sistem control level dengan penggerak pompa.



Berdasar grafik di atas carilah gain integrative sekaligus representasi model matematis IPDT-nya

E. Rangkuman

Kontrol proses industri dalam banyak kasus umumnya akan menunjukkan salah satu dari dua model berikut :

Model proses yang bersifat stabil (Self Regulating Process). Untuk kepentingan perancangan dan *Tuning* parameter PID praktis, model proses ini secara umum dapat didekati oleh sebuah model matematis yang dikenal dengan nama model **FOPDT** (*First Order Plus Dead Time*) yang hanya dicirikan oleh tiga parameter berikut : Delay Transportasi (L), Konstanta waktu process (T), dan gain statis process (K).

Model Proses yang tidak stabil (Non Self Regulating Process). Salah satu yang umum dijumpai di industri adalah model IPDT (Integrating Plus Dead Time) yang hanya dicirikan oleh dua buah parameter : Delay Transportasi (L), Konstanta dan gain integratif (K^*).

Parameter-parameter sebuah kontrol proses (baik model FOPDT ataupun IPDT) secara praktis pada dasarnya dapat diidentifikasi lewat eksperimen yang dikenal dengan nama **Bump Test Experiment**. Yaitu dengan cara mengubah nilai output kontroler secara mendadak oleh operator. Output proses kemudian dicatat dan hasilnya dianalisis.

Kontroler PID adalah jenis kontroler yang sangat umum digunakan industri proses. Modul PID komersial pada umumnya dapat dijumpai dalam bentuk modul *special process controller* (misalnya *temperature controller*, *pressure controller* dan sebagainya), modul DCS dan Modul PLC. Berdasarkan kenyataan, ada beragam jenis struktur kontrol berbasis PID. Masing-masing dikenal dengan mana struktur PID tipe A, B, C, Standar ISA, PID general dan PID serial. Masing-masing struktur dilengkapi dengan filter orde satu pada suku derivatifnya. Hal itu dilakukan untuk menekan derau yang pasti muncul dalam pengukuran.

Untuk setiap struktur PID telah tersedia metode-metode *Tuning* empiris yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya parameter kontrol optimal dalam sebuah model proses yang dihadapi.

Secara umum setiap komponen kontrol PID memiliki fungsi sebagai berikut:

- Kontrol proporsional : berfungsi untuk mempercepat respon.
- Kontrol integral berfungsi untuk menghilangkan *error* steady.
- Kontrol derivatif berfungsi untuk memperbaiki respon transien.

WindUp adalah sebuah fenomena yang disebabkan oleh terjadinya saturasi pada penggerak. Saturasi dapat terjadi karena beban yang dikontrol sudah di luar kemampuan penggerak. Jika kontroler tidak memiliki *Anti-Windup*, dengan terjadinya beban berlebihan, output integrator pada kontroler PID akan terus - menerus membesar (*WindUp*). Di sisi lain, pembesaran output tersebut tidak dapat lagi mengubah posisi penggerak karena telah saturasi. Jika misalnya pada

satu saat beban yang dikontrol kembali normal, output kontroler akan memerlukan waktu yang relatif lama untuk menuju nilai nominalnya kembali.

Bumpless transfer adalah salah satu fitur pada modul kontrol komersial yang berfungsi untuk menghindari perubahan output kontroler yang relatif besar ketika terjadi perubahan mode kontroler dari auto ke manual atau sebaliknya.

Gain scheduling adalah sebuah metode kontrol di mana besar parameter PID yang digunakan oleh modul kontrol dijadwal berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi yang dihadapi. Agar setiap saat kontroler mengetahui kondisi proses, maka dalam skema kontrol ini diperlukan pengukuran variabel tambahan (*auxiliaries variable*) yang secara teknis digunakan sebagai *variable penjadwal* "*scheduled variable*".

F. Test Formatif

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Model Proses FOPDT dan IPDT.
2. Sebutkan dan jelaskan parameter-parameter model proses *self regulating* dan *non self regulating*.
3. Sebutkan minimal 3 jenis struktur PID yang umum dijumpai pada modul kontrol komersil beserta metode-metode *Tuning*nya.
4. Jelaskan kelebihan dan kelemahan masing-masing struktur kontrol PID tersebut.
5. Apa yang dimaksud dengan satuan K_p , T_i dan T_d pada parameter kontrol PID?
6. Bagaimana pengaruh besaran parameter kontrol PID terhadap dinamika proses yang dikontrol?
7. Bagaimana memilih struktur dan metode *Tuning* PID yang tepat untuk sebuah proses yang dihadapi?
8. Apa yang dimaksud *integrator WindUp* dan bagaimana cara mengantisipasinya?
9. Apa yang dimaksud dengan Bumpless transfer?
10. Apa yang dimaksud dengan *Autotuning* dan *gain scheduling*?
11. Jelaskan prinsip kerja *Autotuning* respon transien dan umpan balik relay?

Lembar Kerja Peserta Diklat

LK-3.0

7. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Kontrol PID? Sebutkan!

8. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

9. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

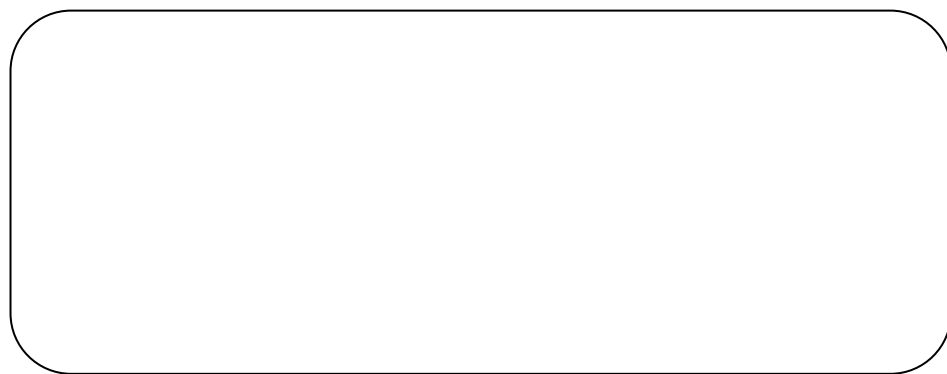
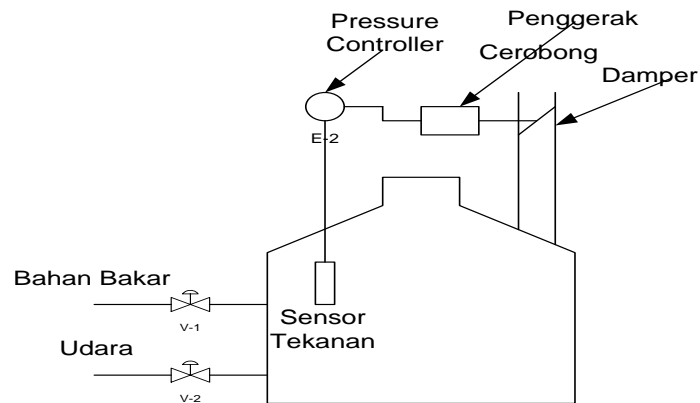
10. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

11. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

12. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

LK-3.1

1. Jelaskan prinsip kerja dari sistem pengontrolan tekanan pada sebuah reaktor seperti tampak pada gambar di bawah dan gambarkan pula diagram bloknya?



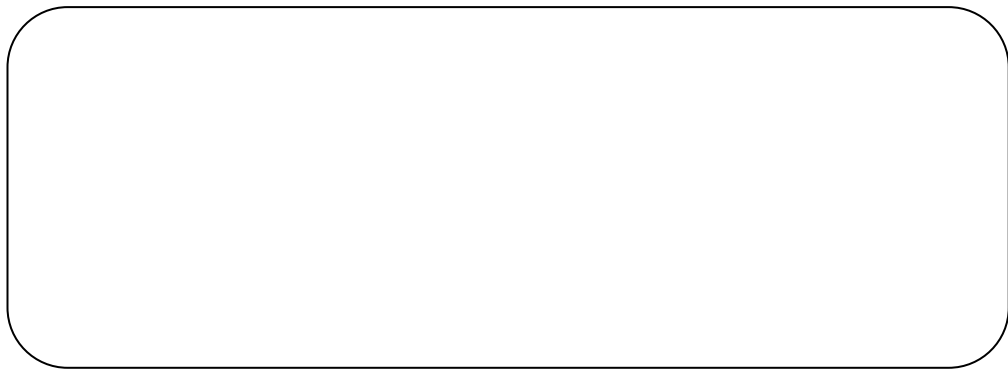
LK-3.2

2. Jika Diketahui sebuah proses FOPDT dengan fungsi alih sebagai berikut :

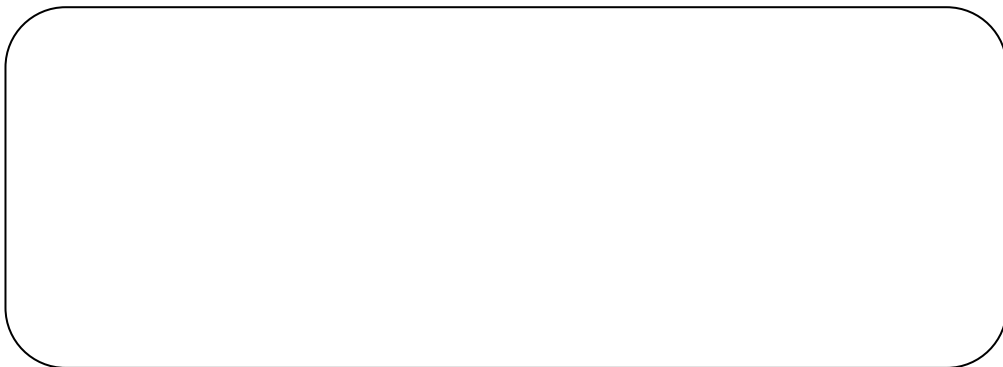
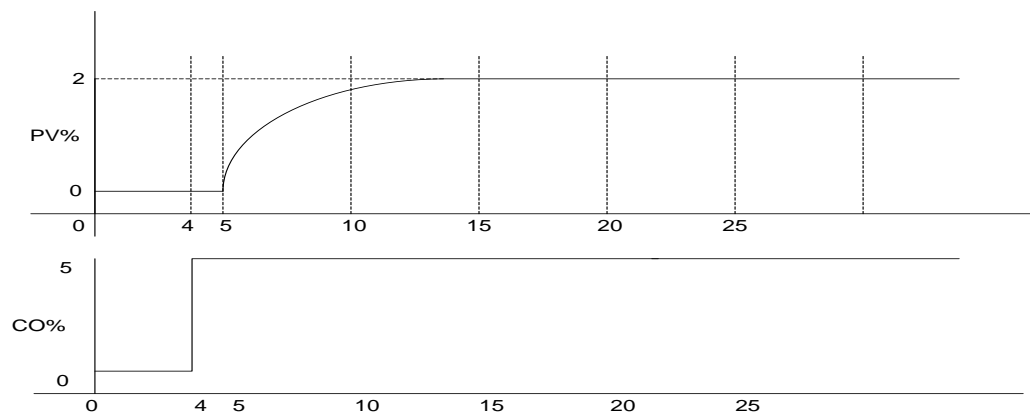
$$pv = \frac{1.2}{1.5s + 2} e^{-s} \cdot co(s) + \frac{1}{1.7s + 1} e^{-0.5} \cdot d(s)$$

Jika proses tersebut akan dikontrol dengan PID struktur ideal, carilah parameter-parameter kontrolnya berdasarkan metode-metode *Tuning* Ziegler Nichols berikut :

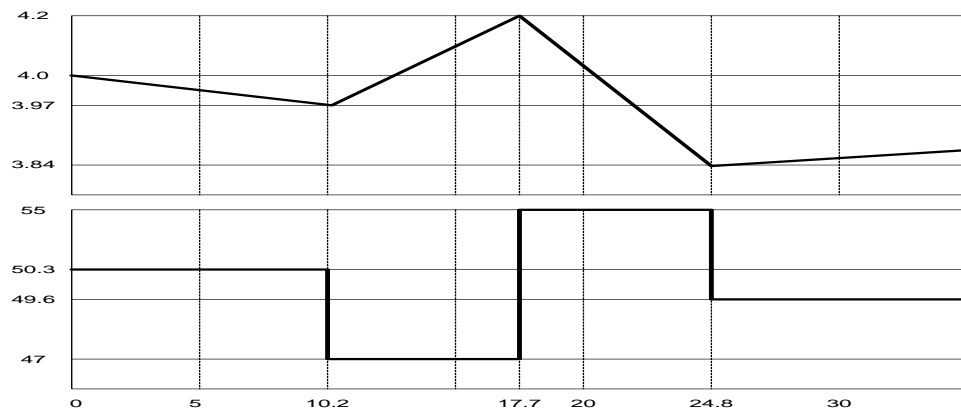
- a. untuk kontrol P
- b. untuk kontrol PI
- c. untuk kontrol PID.



3. Berdasarkan grafik pada Gambar dibawah, carilah konstanta waktu proses berdasarkan *slope* maksimum respon transien.



4. Gambar di bawah ini memperlihatkan hasil experiment bump test sistem kontrol level dengan penggerak pompa.



5. Berdasar grafik di atas carilah gain integrative sekaligus representasi model matematis IPDT-nya

KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : KOMPONEN & RANGKAIAN KONTROL

PLTMH

A. Tujuan

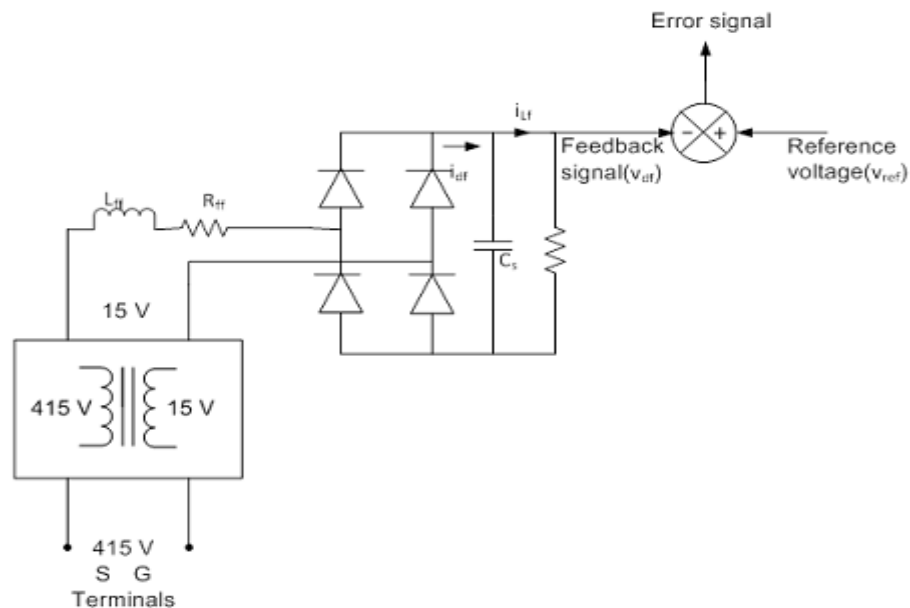
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat mengidentifikasi bagian-bagian pengontrol beban elektronika pada kontrol PLTMh
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat mengidentifikasi komponen-komponen dan rangkaian pengontrol beban elektronika pada kontrol PLTMh.
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan rangkaian-Rangkaian kontrol elektronika
- Melalui diskusi kelompok peserta diklat dapat menjelaskan rangkaian kontrol Digital.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

- Mengidentifikasi bagian-bagian pengontrol beban elektronika pada kontrol PLTMh
- Mengidentifikasi komponen-komponen dan rangkaian pengontrol beban elektronika pada kontrol PLTMh.
- Menjelaskan rangkaian-Rangkaian kontrol elektronika
- Menjelaskan rangkaian kontrol Digital.

C. Uraian Materi

Coba Anda perhatikan gambar di bawah ini. Apa fungsinya gambar rangkaian tersebut?, Bagaimana rangkaian pada Gambar 4.1 bekerja?, Gambarkan rangkaian dari blok deteksi *error*. Diskusikan tentang Komponen-komponen apa saja yang digunakan pada kontrol beban elektronika. Dan berikan contoh rangkaian pada bagian tersebut. Bacalah buku bahan ajar ini atau informasi dari sumber lain untuk mendapatkan informasi yang lebih dalam, baik dari internet atau buku sumber lainnya, presentasikan setelah diskusi selesai.



Gambar 4. 1 Rangkaian Sensor Tegangan

Governor pada PLTMh merupakan peralatan pengatur jumlah air yang masuk ke dalam turbin agar tenaga air yang masuk turbin sesuai dengan daya listrik yang dikeluarkan oleh pembangkit hingga putaran akan konstan. Penggunaan governor tersebut kurang menguntungkan bila ditinjau secara ekonomis, karena harganya hampir sama bahkan melebihi harga turbin generator. Para produsen di dalam negeri masih belum sanggup bersaing dengan produksi luar negeri, baik dari segi kualitas maupun harganya. Untuk itu perlu dibuat Desain *Electronic Load Controller* (ELC) sebagai pengontrol beban komplemen pada PLTMh dengan kapasitas sesuai yang dibutuhkan di lapangan.

PLTMh mempunyai tiga komponen utama yang masing-masing fungsinya sangat menentukan, yaitu : turbin air, generator, dan governor (ELC). Pada pembangkit, pengendalian putaran dimaksudkan untuk mengendalikan putaran (frekuensi) generator sehingga pengendalian putaran dalam hal ini diutamakan berfungsi sebagai pengendali frekuensi generator. Perubahan putaran (frekuensi) generator dapat disebabkan karena adanya perubahan daya penggerak. Jika daya air yang masuk ke turbin dibuat selalu tetap sehingga daya penggerak turbin selalu tetap, maka frekuensi dan respon generator akan menjadi fungsi dari beban. Agar frekuensi yang

dihasilkan oleh generator besarnya selalu tetap, maka besar beban dari generator harus selalu tetap. Untuk itu diperlukan beban tiruan yang besar bebannya dapat diatur sesuai dengan pengurangan beban dari PLTM. Beban tiruan ini disebut beban komplemen.

Pada suatu kondisi beban tertentu (misal pada beban sebesar 75% beban penuh), daya air yang masuk ke turbin diatur sehingga diperoleh putaran generator yang dikehendaki. Jika pada beban konsumen terjadi penurunan beban sebesar (X), maka beban komplemen akan dilewati arus yang rata-ratanya akan sebesar penurunan arus akibat turunnya beban konsumen (X). Dengan demikian generator akan dibebani dengan total beban yang selalu konstan.

Oleh karena daya yang masuk ke turbin dibuat tetap dan beban yang dirasakan oleh generator juga selalu tetap, maka putaran generator senantiasa juga tetap. Dengan kata lain, jika debit air konstan maka generator harus dibebani dengan daya konstan agar putaran generator selalu tetap. Oleh karena beban konsumen tidak selalu konstan, maka untuk menjaga kestabilan putaran turbin generator diperlukan beban komplemen yang besarnya diatur oleh ELC sedemikian rupa sehingga :

Beban Konsumen + Beban Komplemen = Kapasitas Nominal Generator

Pengaturan putaran generator mikrohidro dengan beban komplemen menggunakan sakelar elektronik yang terdiri atas empat bagian utama, yaitu :

Sensor dan Rangkaian Kontrol

Alat ini berfungsi untuk mendeteksi perubahan arus beban yang dihasilkan oleh generator sebagai akibat adanya perubahan arus pada beban konsumen yang kemudian akan dibandingkan dengan harga referensi yang telah ditentukan. Selanjutnya rangkaian kontrol akan memberikan aksi atas perubahan tersebut dengan memberikan trigger pada SCR sesuai dengan perubahan yang terjadi.

Beberapa pilihan rangkaian kontrol yang dapat digunakan pada kontrol mikrohidro adalah diantaranya Rangkaian mekanik, pneumatic, Rangkaian elektronika analog, rangkaian elektronika digital, Mikrokontroler, mikroprosesor dan PLC. Yang berkembang sekarang ini dalam mengembangkan kontrol PLTMh adalah

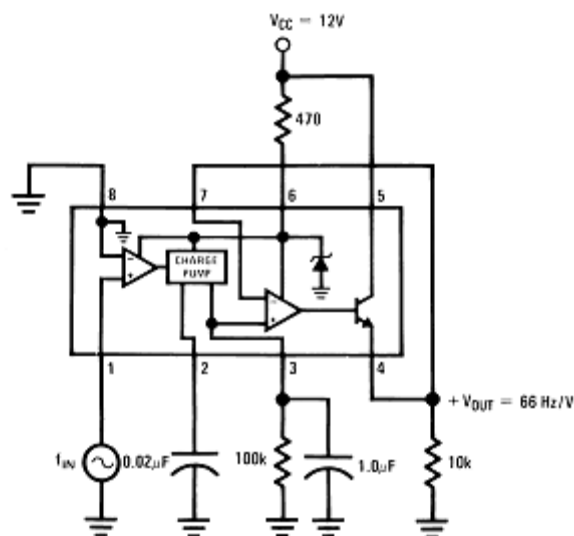
Mikrokontroler, karena pertimbangan harga dan tingkat kesederhanaan rangkaian serta mudahnya komponen tersebut diperoleh.

Konverter Frekuensi ke Tegangan

Parameter output dari generator AC berupa tegangan dan frekuensi.

Ada kalanya sinyal yang diolah oleh kontroler adalah tegangan. Untuk Elektronik load control analog biasanya akan menyensor tegangan. Umumnya pada pengaturan generator sinkron parameter yang dikontrol adalah kestabilan frekuensi yang sekaligus mengontrol tegangan. Tegangan input dapat diperoleh secara langsung maupun tidak langsung(dari frekuensi).

Berikut adalah rangkaian yang sering digunakan untuk mengkonversi frekuensi ke tegangan :

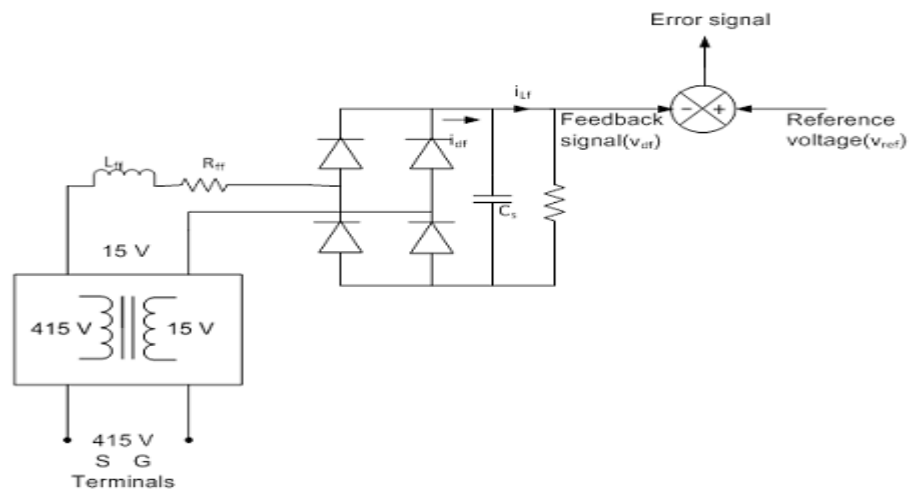


Gambar 4. 2 Konverter F to V

Komponen utama adalah LM2917 dan beberapa resistor dan kapasitor. F in dapat berupa gelombang sinus dengan tegangan puncak di bawah tegangan catu daya. Tegangan catu daya maksimal adalah 28 Volt. Untuk rangkaian diatas akan menghasilkan tegangan output 1 volt pada saat ada frekuensi input 66Hz. Hubungan Vo dan Fin dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \dots\dots\dots(3.1)$$

Sensor Tegangan



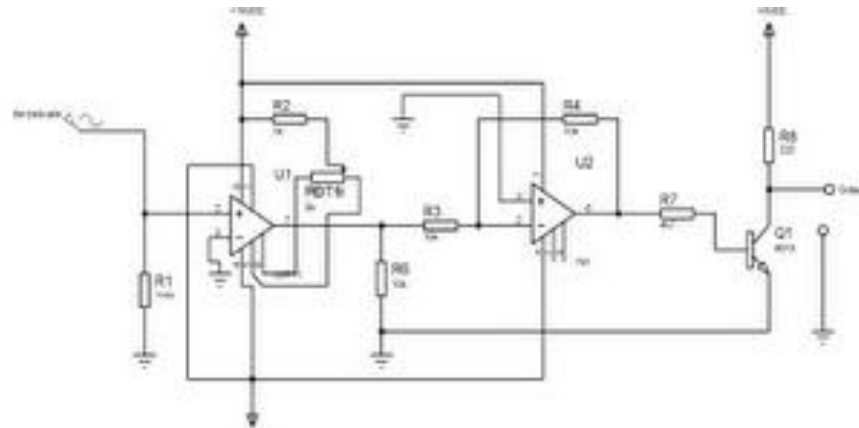
Gambar 4. 3 Sensor tegangan untuk mencari *error*

Dengan persamaan (3.1) atas kita dapat menentukan sendiri berapa R_1 dan C_1 berdasarkan tegangan output yang diinginkan.

Sensor tegangan yang diperoleh secara langsung dari output generator dengan tegangnya terlebih dulu di turunkan dengan transformator yang kemudian disearahkan dan difilter. Hasilnya dibandingkan dengan tegangan set point sehingga menghasilkan tegangan selisih atau sinyal kesalahan.

Sensor Frekuensi

Umumnya sensor ini digunakan pada digital load controller. Dimana nilai frekuensi ini tidak diubah menjadi tegangan atau arus listrik melainkan diolah secara numerik.



Gambar 4. 4 Rangkaian *zero cross detector*

Sensor ini hanya memerlukan rangkaian *zero cross detector* dan pembentuk gelombang kotak dari gelombang sinus tegangan jala-jala serta penurun tegangan. Pada Gambar 4.4 diperlihatkan rangkaian *zero cross detector*. Input diberi gelombang sinus dan outputnya akan menghasilkan gelombang kotak untuk diukur lebar waktu/ periodanya. Input rangkaian ini diambil dari output catu daya dengan tegangan 5-12 VDC.

Rangkaian Proporsional dengan OP-Amp

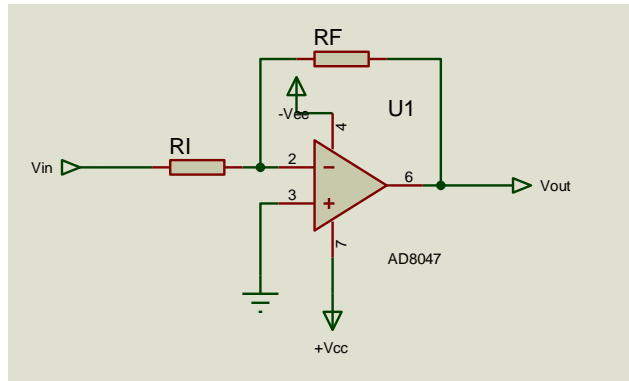
Rangkaian elektronika analog untuk Rangkaian proporsional adalah penguat dengan gain tertentu. Penguat ini dapat berupa penguat berbasis transistor maupun menggunakan op-amp. Pada penguat yang menggunakan OP-Amp terdiri dari penguat inverting dan noninverting.

Penguat Inverting

Inverting amplifier memiliki besar penguatan yang Negatif. Jika masukan sinyalnya positif maka keluaran sinyalnya negatif begitu juga sebaliknya jika sinyal masukan negatif akan menghasilkan sinyal keluaran positif. Antara masukan dan keluaran berbeda fase 180° atau berlawanan polaritas. pada rumus penguatannya. Penguatan inverting amplifier adalah bisa lebih kecil nilai besaran dari 1,

Rumus nya :

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i \dots\dots\dots(3.2)$$



Gambar 4. 5 Rangkaian Proporsional Pembalik phasa

Penguat Non Inverting

Rangkaian non inverting ini hampir sama dengan rangkaian inverting hanya perbedaannya adalah terletak pada tegangan inputnya dari masukan noninverting.

Rumusnya seperti berikut :

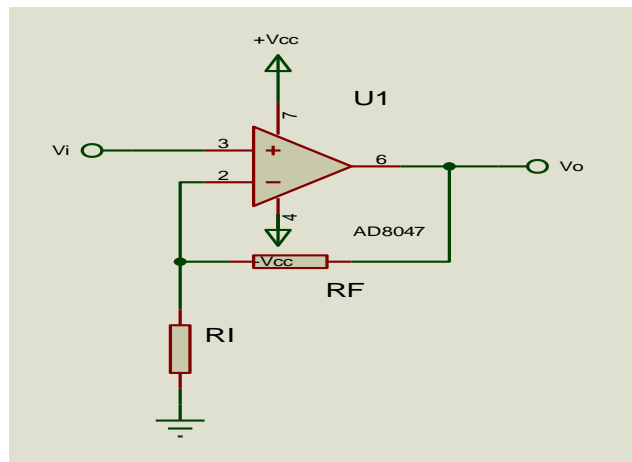
$$V_o = \frac{R_f + R_i}{R_i} V_i \dots\dots\dots(3.3)$$

sehingga persamaan menjadi

$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right) V_i \dots\dots\dots(3.4)$$

Hasil tegangan output noninverting ini akan lebih dari satu dan selalu positif.

Rangkaiannya adalah seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 6 Rangkaian Proporsional dengan OP-AMP

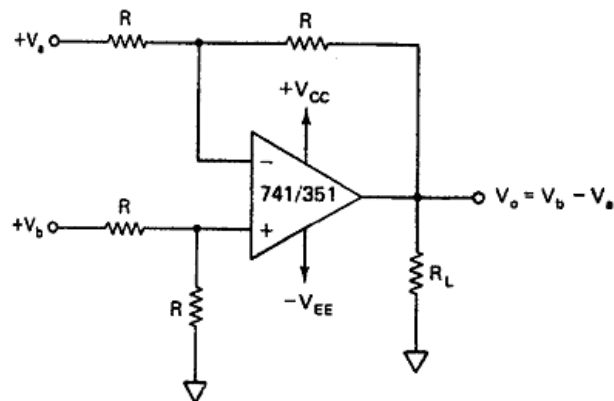
Rangkaian Subtractor/ Pengurang

Dalam sistem kontrol umumnya rangkaian ini digunakan untuk mencari *error* yaitu selisih antara tegangan set point dengan sinyal dari umpanbaliksensur. Rangkaian pengurang ini berasal dari rangkaian inverting dengan memanfaatkan masukan non-inverting, sehingga persamaannya menjadi sedikit ada perubahan. Supaya benar benar terjadi pengurangan maka nilai dibuat seragam seperti Gambar 4.7. Rumusnya adalah :

$$V_o = \left(\frac{R}{R} + 1 \right) \left(\frac{R}{R+R} \right) V_b - \frac{R}{R} V_a \quad \text{.....(3.5)}$$

sehingga

$$V_o = (V_b - V_a) \quad \text{.....(3.6)}$$



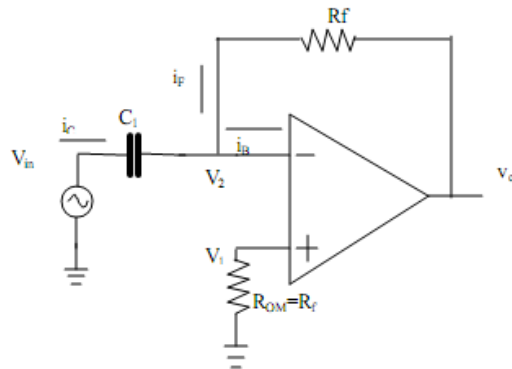
Gambar 4. 7 Rangkaian Pengurangan

Rangkaian Diferensiator/Derivative

Rangkaian differensiator adalah rangkaian aplikasi dari rumusan matematika yang dapat dimainkan (dipengaruhi) dari kerja kapasitor.

Rangkaiannya seperti pada Gambar 4.8 dengan rangkaian sederhana dari differensiator. Untuk mendapatkan rumus differensiator, urutannya adalah sebagai berikut : $i_c = i_b + i_f$ dan selama nilai $i_c = i_f$ dan $i_b = 0$ selisih dari input inverting dan input noninverting (v_1 dan v_2) adalah nol dan penguatan tegangannya sangat besar, maka didapat persamaan pengisian kapasitor sebagai berikut :

$$C_1 \frac{d}{dt} (v_{in} - v_2) = \frac{v_2 - v_o}{R_f} \text{ menjadi } C_1 \frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{v_o}{R_f} \text{ atau } v_o = -R_f C_1 \frac{dv_{in}}{dt} \dots(3.7)$$



Gambar 4. 8 Differensiator OP-Amp

Pada rangkaian aplikasi, rangkaian differensiator op-amp ini ada sedikit perubahan yaitu penambahan tahanan dan kapasitor yang fungsinya untuk memfilter sinyal masukan, seperti tampak pada Gambar 4.8 adalah rangkaian differensiator yang dimaksud. Dengan demikian maka ada batasan input dari frekuensi yang masuk, batasan tersebut adalah

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_f C_1} \dots\dots\dots (3.8)$$

sedangkan nilai frekuensi yang diakibatkan oleh R_f dan C_1 adalah sebagai berikut :

$$f_b = \frac{1}{2\pi R_f C_f} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \dots\dots\dots (3.9)$$

Bila sinyal input melebihi frekuensi f_a maka hasil output akan sama dengan hasil input, alias fungsi rangkaian tersebut tidak lagi differensiator lagi tapi sebagai pelewat biasa.

Rangkaian Integrator

Rangkaian integrator op-amp ini juga berasal dari rangkaian inverting dengan tahanan umpan baliknya diganti dengan kapasitor. Proses perhitungannya sebagai berikut :

$$I_1 = I_b + I_f, I_b \text{ diabaikan karena sangat kecil nilainya sehingga : } I_1 = I_f.$$

Arus pada kapasitor adalah

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \dots\dots\dots (3.10)$$

yang sama dengan I_f , sehingga

$$\frac{v_{in} - v_2}{R_1} = C_F \left(\frac{d}{dt} \right) (v_2 - v_o) \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

karena $v_1 = v_2 = 0$, karena penguatan A terlalu besar, sehingga

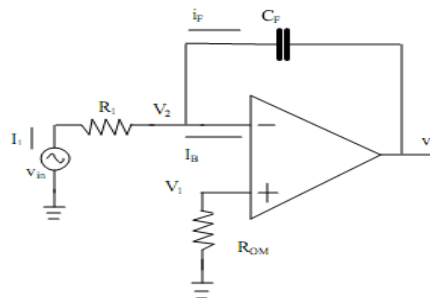
$$\frac{v_{in}}{R_1} = C_F \left(\frac{d}{dt} \right) (-v_o) \quad \text{---} \quad \int_0^t \frac{v_{in}}{R_1} dt = \int_0^t C_F \frac{d}{dt} (-v_o) dt = C_F (-v_o) + v_o \big|_{t=0} \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

$$v_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int_0^t v_{in} dt + C \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

Batas frekuensi yang dilalui oleh kapasitor dalam rangkaian *integrator* adalah

$$f_o = \frac{1}{2\pi R_1 C_F} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

Biasanya rangkaian untuk aplikasi ada penambahan tahanan yang diparalel atau diseri dengan kapasitor dengan nama R_F . Seperti pada Gambar 4.9 rangkaian integrator yang belum ditambah tahanan yang diparalel dengan kapasitor. Nilai $R_{OM} < R_1$.

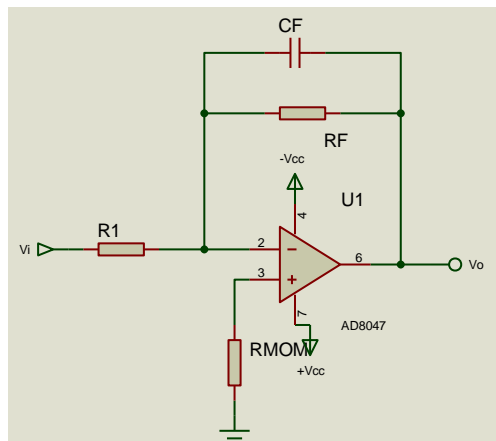


Gambar 4. 9 Integrator Amplifier

Perhitungan nilai untuk R_F berkaitan dengan komponen lainnya yaitu $f_a < f_b$ dimana rumus f_a adalah :

$$f_b = \frac{1}{2\pi R_1 C_F} \quad , \quad f_a = \frac{1}{2\pi R_F C_F} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

Sebagai contoh $f_a = f_b / 10$



Gambar 4. 10 Rangkaian integrator praktis

Rangkaian Isolasi dan driver

Untuk mengontrol rangkaian akhir/ aktuator diperlukan adanya pentriggeran dengan tegangan dan arus tertentu. Untuk menjembatani antara rangkaian kontrol dan aktuator diperlukan adanya driver. Ada beberapa pilihan komponen yang digunakan untuk mendrive dan sekaligus mengisolasi tegangan Power dengan catu daya yang digunakan kontrol.

Transformator pulsa. Komponen ini dapat membendung tegangan jala-jala dan tegangan dari kontrol dengan menggunakan kopling magnetik. Dengan memberikan pulsa sesaat pada lilitan primer maka akan dibangkitkan tegangan pada lilitan sekundernya. Perbandingan tegangan input dan output ditentukan oleh jumlah lilitan primer dan sekundernya. Tegangan akan keluar sesaat pada saat perubahan dari kondisi rise time (*low ke high*) dan fall time dari (*high ke low*). Arah arus akan berubah pula dari kedua kondisi tersebut. Hal ini perlu diperhatikan jika digunakan sebagai trigger pada sudut penyulutan Thiristor atau SCR.

Opto isolator. Komponen ini menggunakan kopling cahaya untuk mentransmisikan pulsa kontrol ke rangkaian yang dikontrol. Kopling ini paling aman diantara kopling yang lain karena bekerja searah melalui perantara cahaya. Sehingga tidak akan terjadi arus balik maupun beban lebih pada rangkaian kontrol walaupun pada bagian akhir terjadi hubung singkat. Komponen ini terbentuk dari dua komponen optik yaitu pemancar dan penerima. Komponen optik pemancar biasanya berupa LED infra

merah dan optik penerima. Berdasarkan optik penerima komponen opto isolator ini diantaranya yaitu optoisolator LED, optotransistor dan Optoisolator Triac.

Untuk mendrive rangkaian AC lebih cocok menggunakan optoisolator Triac. Ada dua jenis opto isolator triac yang tersedia :

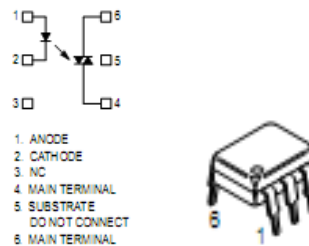
1. *DriveRandom Phase Optoisolator Triac.*
2. *Zero cross Optoisolator Triac.*

Drive Random Phase Optoisolator Triac adalah driver optoisolator triac yang dapat ditrigger dengan sudut penyalan secara acak. Komponen ini aktif/"konduksi kapanpun bersamaan dengan adanya trigger. Contoh tipe komponen dari pabrikan motorola adalah seri MOC3021,MOC3022,MOC3023 dan MOC3051,MOC3052,MOC3053.

Seri di atas terdiri dari LED infra merah GaAs dengan kopel cahaya ke triac saklar AC non-Zero crossing. Komponen ini mampu mengisolasi tegangan logic rendah dari saluran 220 Vac dengan menyediakan kontrol phase acak arus tinggi pada triac. Seri ini memiliki fitur static dv/dt tambahan yang mampu menjamin kestabilan kinerja saklar padabeban induktif.

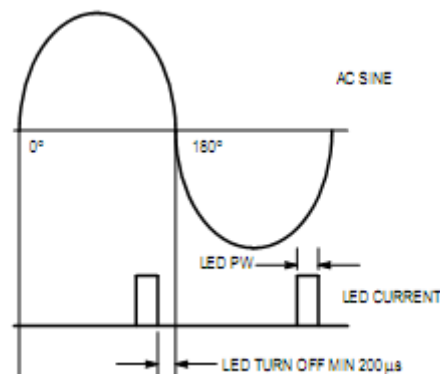
Saran penggunaan terutama pada:

- KontrolSolenoid/Katup
- Relay *Solid State*
- Lampu*Ballasts*
- Lampu *Dimmers*
- Saklar Statis Daya AC
- Kontrol Temperatur
- Antarmuka mikrokontroler atau mikroprosesor ke 115 dan 240 Vac
- Peralatan kontrol Motor



Gambar 4. 11 rangkaian skematik (kiri) dan bentuk fisik (kanan)

Untuk menyulut rangkaian ini ada daerah terlarang yang tidak boleh ada trigger. Daerah ini ada sebelum 0° dan 180° yaitu sebesar $200\mu\text{s}$. Jika ada trigger pada waktu ini maka Triac akan aktif /konduksi selama setengah siklus berikutnya.



Gambar 4. 12 Waktu minimal untuk LED mati menuju batas ke posisi penyebrangan nol.

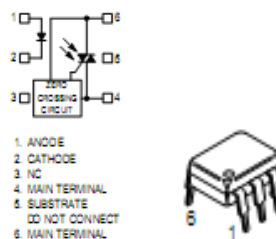
Zero cross Optoisolator Triac, Drive Zero Cross Optoisolator triac adalah driver optoisolator triac yang hanya dapat ditrigger dengan sudut penyalan pada 0° . Komponen ini aktif/konduksi saat tegangan nol bersamaan dengan adanya trigger. Contoh tipe komponen dari pabrikan motorola adalah seri MOC3041, MOC3042, MOC3043

Seri diatas terdiri dari LED infra merah GaAs dengan kopel cahaya ke detektor silikon monolitik yang bekerja pada saat tegangan melewati titik nol triac saklar AC. Komponen ini mampu mengisolasi tegangan logic rendah dari saluran 220 Vac dengan menyediakan kontrol phase acak arus tinggi pada triac. Seri ini memiliki fitur static dv/dt tambahan yang mampu menjamin kesetabilan kinerja saklar padabeban induktif.

Saran penggunaan terutama pada:

- Kontrol logika sederhana
- Melewati tegangan nol
- dv/dt pada 2000 V/ μs umumnya, 1000 V/ μs dijamin
- Kontrol Solenoid/katup
- Kontrol Temperature
- Kontrol Cahaya
- kontrol E.M.
- *Driver Motor AC*
- *Relay Solid State*

Jenis ini hanya mampu dua kondisi yaitu ON dengan skala penuh dan OFF. Artinya tidak dapat diatur dengan menggunakan sudut penyalan.



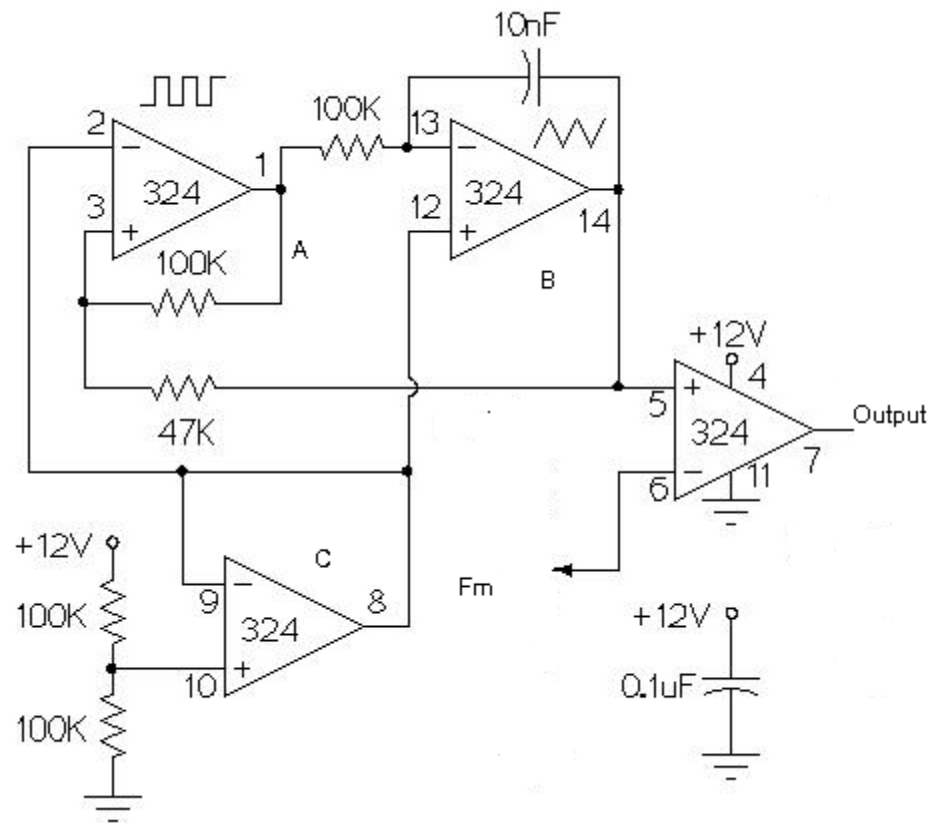
Gambar 4. 13 Komponen Opto Coupler

Rangkaian PWM (Modulasi Lebar Pulsa)

Rangkaian di bawah ini merupakan salah satu contoh rangkaian PWM analog yang dapat digunakan untuk mengatur beban dengan pengendali akhir IGBT atau MOSFET. IGBT (*isolated gate bipolar transistor*) atau MOSFET dipakai pada beban DC. Sehingga harus ada komponen Penyearahnya.

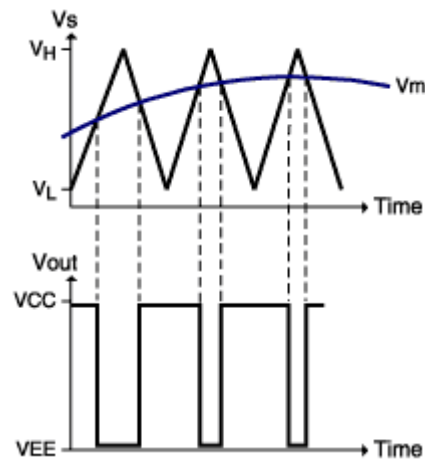
Rangkaian ini terdiri dari empat bagian yaitu rangkaian osilator gelombang kota yang dikerjakan oleh OP-Amp LM324(A), rangkaian integrator yang berfungsi menghasilkan gelombang gigigergaji melalui OP-Amp LM324 (B), rangkaian Buffer untuk menyetabilkan pembagi tegangan yang digunakan pada bias OP-Amp, dan bagian komparator yang menghasilkan Pulsa PWM dengan cara membandingkan sinyal gelombang gigi gergaji dengan sinyal pemodulasi (fm). Sinyal pemodulasi ini diambil dari *error* dan hasil pengolahan PID kontrol. Siklus aktif (duty cycle) akan bersesuaian

dengan tegangan sinyal pemodulasi. Periode pulsa akan sama dengan sinyal osilator gigigergaji.



Gambar 4. 14 Rangkaian integrator praktis

Berikut ini adalah contoh gelombang PWM dengan V_m sebagai Tegangan modulasi:



Gambar 4. 15 Grafik Pembentukan PWM

Dari grafik kurva di atas dapat dinyatakan bahwa makin tinggi V_m siklus aktif PWM makin besar.

$$\text{Siklus aktif} / D = \frac{t}{T} \dots \dots \dots (3.16)$$

Dengan : t = lebar pulsa aktif

T = Perioda.

Jika siklus aktif 50% atau 0,5 artinya pada saat itu daya terbuang 50% ke beban *ballast*.

Selain rangkaian di atas, anda dapat membuat rangkaian PWM secara digital dengan menggunakan mikrokontroler dengan mengatur waktu ON/ siklus aktif. Apalagi jika pada fitur mikrokontroler telah memiliki internal PWM.

Mikrokontroler AVR

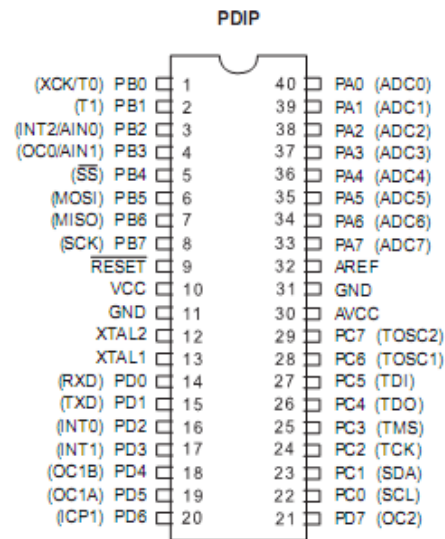
Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer lengkap dalam satu serpih(*chip*). Mikrokontroler lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa Port masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti pencacah/pewaktu, ADC (*Analog to Digital Converter*), DAC (*Digital to Analog Converter*) dan serial komunikasi. Banyak perusahaan produsen mikrokontroler yang dapat Anda pilih untuk dijadikan sebagai kontroller diantaranya adalah sebagai berikut : Zilog, Basicstamp, Atmel, intel, Microchip, ARM dan lain-lain. Sementara ini yang paling banyak diminati adalah

yang sudah menggunakan Flash memori: Seperti AT89S51, ATmega, ATtiny, PIC16FXX, PIC18FXX. Semua jenis itu memiliki fitur dan bahasa pemrograman yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Hal tersebut menyebabkan compiler-nya berbeda pula baik bahasa tingkat rendah (*assembler*) maupun bahasa tingkat tinggi (Basic, C++, Pascal).

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keluarga AT90Sxx, ATmega dan ATtiny. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fiturnya. Seperti mikroprosesor pada umumnya, secara internal mikrokontroler ATmega 8535 terdiri atas unit-unit fungsionalnya *Arithmetic and Logical Unit* (ALU), himpunan register kerja, register dan dekoder instruksi, dan pewaktu beserta komponen kendali lainnya. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler menyediakan memori dalam serpih yang sama dengan prosesornya (*in chip*).

Konfigurasi Pena (Pin) ATMEGA 8535

Konfigurasi pena (*pin*) mikrokontroler ATmega 8535 dengan kemasan 40-pena dapat dilihat pada Gambar 4.16. Dari gambar tersebut dapat terlihat ATmega 8535 memiliki 8 pena untuk masing-masing *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.



Gambar 4. 16 Pena-Pena ATmega 8535

Mikrokontroler ATmega 8535 memiliki beberapa fitur atau spesifikasi yang menjadikannya sebuah solusi antarmuka Input output yang efektif untuk berbagai keperluan. Fitur-fitur tersebut antara lain:

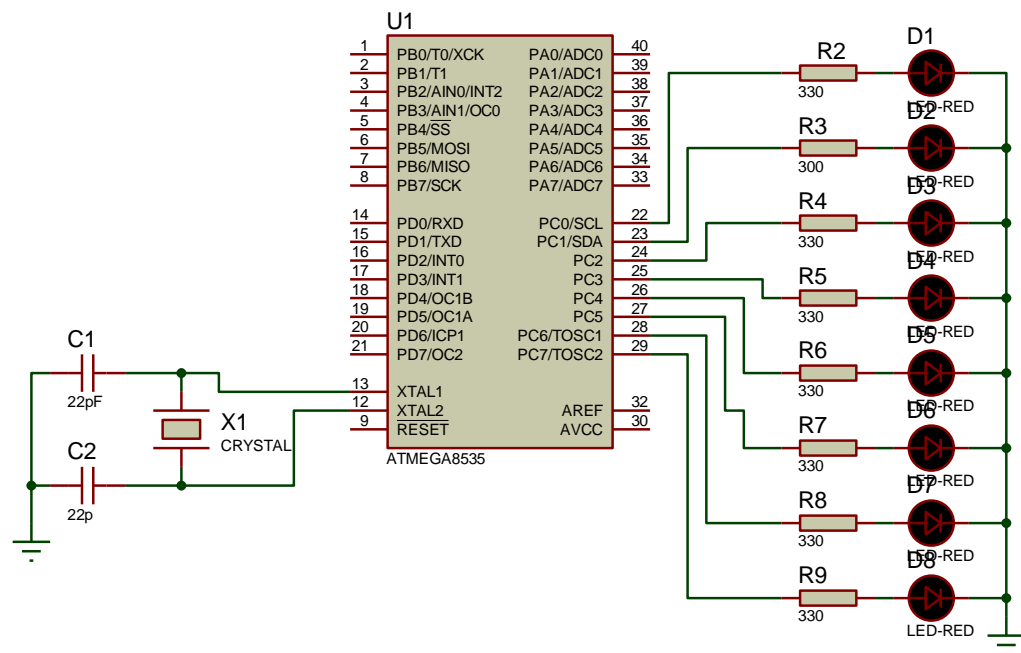
1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yang terdiri atas Port A, B, C dan D dapat diatur pullUp-Nya
2. ADC (Analog to Digital Converter) dengan resolusi 10-bit sebanyak 8 saluran melalui Port A
3. Tiga buah timer/counter dengan kemampuan perbandingan CPU yang terdiri atas 32 register
4. Watchdog Timer dengan osilator internal
5. SRAM sebesar 512 byte
6. Memori Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan Read While Write
7. Unit Interupsi Internal dan *Eksternal*.
8. Internal PWM 8 Bit
9. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat di program saat operasi
10. Antarmuka komparator analog
11. Port USART untuk komunikasi serial
12. 4.5 sampai 5.5V operation, 0 sampai 16MHz".

Selain fitur yang lengkap, mikrokontroler ini memiliki dukungan software dan hardware yang mudah diperoleh. Untuk software pemrograman mikrokontroler, Anda dapat menggunakan bahasa assembly, maupun bahasa tingkat tinggi seperti bahasa C dengan kompiler codeVision dan Basic dengan Basic Compiler/ BASCOM.

Contoh Program "Hello Word" Dengan BASCOM

Program di bawah ini akan menghasilkan pulsa/ gelombang kotak pada Portc.0 dengan perioda 2000milidetik atau 2detik atau jika outputnya dipasang LED akan menyala dan padam masing-masing selama satu detik secara terus menerus. Anda dapat menggunakan Software simulator misalnya seperti **Isis proteus**. Untuk mengkompile program menjadi heksa file pada BASCOM pilih program > compile atau tekan F7. Untuk mengisikan program hexa atau file *.hex klik dua kali dengan cepat dan cari file *.hex yang akan disimulasikan.

```
'-----  
'Program Hello Word  
'-----  
  
'-----  
'DEKLARASI CRISTAL  
'-----  
$crystal = 8000000  
  
'-----  
'DEKLARASI HEADER  
'-----  
$regfile = "m8535.dat"  
  
'-----  
'PENDEFINISIAN PIN MIKRO  
'-----  
Config PORTC = Output  
  
'-----  
'RUTIN UTAMA  
'-----  
Do  
    PORTC = &B00000000  
    Waitms 1000  
    PORTC = &B00000001  
    Waitms 1000  
Loop
```



Gambar 4. 17 Rangkaian Simulasi dengan software Proteus

Contoh 2 Sensor Tegangan Dengan Internal ADC 10 Bit, nilainya akan dikirim ke komputer melalui port serial DB9.

```

$regfile = "m8535.dat"

Config ADC = Single , Prescaler = Auto
Start ADC

Dim W As Word , Channel As Byte

Channel = 0
'now read A/D value from channel 0
Do
  W = Getadc(channel)
  Print "Channel " ; Channel ; " value " ; W
  Incr Channel
  If Channel > 7 Then Channel = 0
Loop
End

```

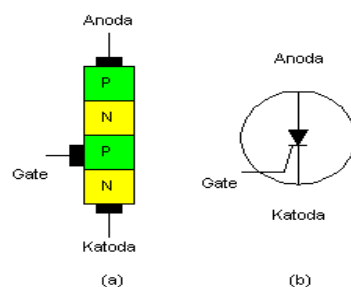
Sakelar Elektronik (Thyristor)



Gambar 4. 18 Gambar MODUL SCR

Silicon Controlled Rectifier(SCR)

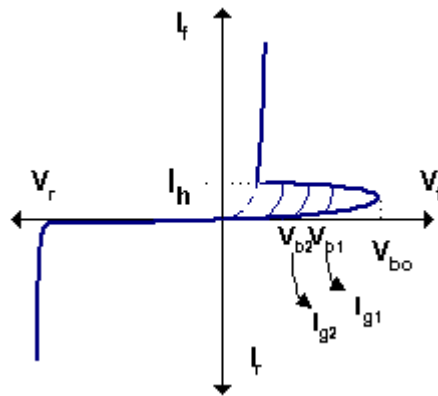
Sebelumnya telah dibahas bahwa, untuk membuat thyristor menjadi ON adalah dengan memberi arus trigger lapisan P yang dekat dengan katoda. Yaitu dengan membuat kaki gate pada thyristor PNPN seperti pada Gambar 4.19a. Karena letaknya yang dekat dengan katoda, bisa juga pin gate ini disebut pin gate katoda (*cathode gate*). Beginilah SCR dibuat dan simbol SCR digambarkan seperti Gambar 4.19. SCR dalam banyak literatur disebut Thyristor saja.



Gambar 4. 19 Struktur SCR

Melalui kaki (pin) gate tersebut memungkinkan komponen ini di trigger menjadi ON, yaitu dengan memberi arus gate. Ternyata dengan memberi arus gate I_g yang semakin besar dapat menurunkan tegangan *breakover* (V_{bo}) sebuah SCR. Dimana tegangan ini adalah tegangan minimum yang diperlukan SCR untuk menjadi ON. Sampai pada suatu besar arus gate tertentu, ternyata akan sangat mudah membuat SCR menjadi ON. Bahkan dengan tegangan *forward* yang kecil sekalipun. Misalnya 1

volt saja atau lebih kecil lagi. Kurva tegangan dan arus dari sebuah SCR adalah seperti yang ada pada Gambar 4.20 yang berikut ini.



Gambar 4. 20 Karakteristik kurva I-V SCR

Pada Gambar 4.20 tertera tegangan *breakover* V_{bo} , yang jika tegangan forward SCR mencapai titik ini, maka SCR akan ON. Lebih penting lagi adalah arus I_g yang dapat menyebabkan tegangan V_{bo} turun menjadi lebih kecil. Pada gambar ditunjukkan beberapa arus I_g dan korelasinya terhadap tegangan breakover. Pada datasheet SCR, arus trigger gate ini sering ditulis dengan notasi I_{GT} (*gate trigger current*). Pada Gambar 4.20 ditunjukkan juga arus I_h yaitu arus *holding* yang mempertahankan SCR tetap ON. Jadi agar SCR tetap ON maka arus *forward* dari anoda menuju katoda harus berada di atas parameter ini.

Sejauh ini yang dikemukakan adalah bagaimana membuat SCR menjadi ON. Pada kenyataannya, sekali SCR mencapai keadaan ON maka selamanya akan ON, walaupun tegangan gate dilepas atau di *short* ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR menjadi OFF adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun di bawah arus I_h (*holding current*). Pada gambar-5 kurva I-V SCR, jika arus forward berada di bawah titik I_h , maka SCR kembali pada keadaan OFF. Berapa besar arus *holding* ini, umumnya ada di dalam datasheet SCR.

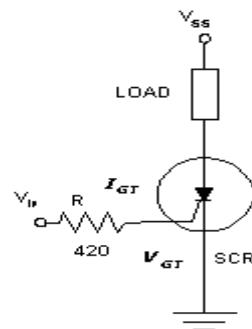
Cara membuat SCR menjadi OFF tersebut adalah sama saja dengan menurunkan tegangan anoda-katoda ke titik nol. Karena inilah SCR atau thyristor pada umumnya tidak cocok digunakan untuk aplikasi DC. Komponen ini lebih banyak digunakan untuk

aplikasi-aplikasi tegangan AC, dimana SCR bisa OFF pada saat gelombang tegangan AC berada di titik nol.

Ada satu parameter penting lain dari SCR, yaitu V_{GT} . Parameter ini adalah tegangan trigger pada gate yang menyebabkan SCR ON. Kalau dilihat dari model thyristor pada gambar-2, tegangan ini adalah tegangan V_{be} pada transistor Q2. V_{GT} seperti halnya V_{be} , besarnya kira-kira 0.7 volt. Seperti contoh rangkaian Gambar 4.21 berikut ini sebuah SCR diketahui memiliki $I_{GT} = 10 \text{ mA}$ dan $V_{GT} = 0.7 \text{ volt}$. Maka dapat dihitung tegangan V_{in} yang diperlukan agar SCR ini ON adalah sebesar :

$$V_{in} = V_r + V_{GT}$$

$$V_{in} = I_{GT}(R) + V_{GT} = 4.9 \text{ volt}$$

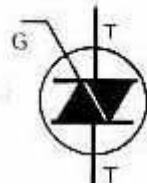


Gambar 4. 21 Pemberian Tegangan Pada Gate SCR

TRIAC

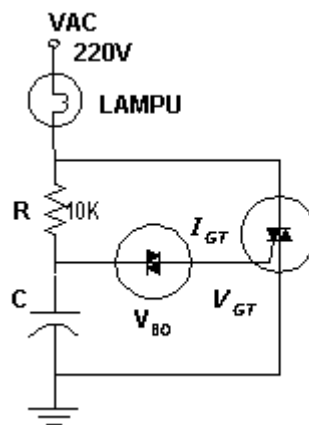
Boleh dikatakan SCR adalah thyristor yang uni-directional, karena ketika ON hanya bisa melewatkan arus satu arah saja yaitu dari anoda menuju katoda. Struktur TRIAC sebenarnya adalah sama dengan dua buah SCR yang arahnya bolak-balik dan kedua gate-nya disatukan. Simbol TRIAC ditunjukkan pada Gambar 4.22. TRIAC biasa juga disebut thyristor *bi-directional*.

*Lambang TRIAC di dalam skema elektronika, memiliki tiga kaki, dua diantaranya terminal **MT1 (T1)** dan **MT2 (T2)** dan lainnya terminal **Gate (G)***



Gambar 4. 22 Simbol TRIAC

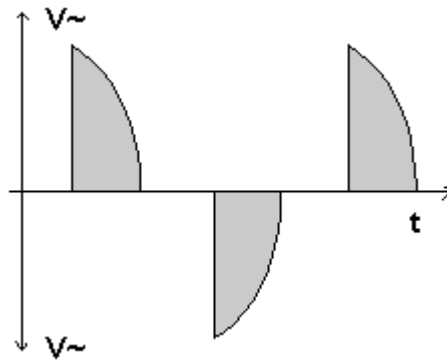
TRIAC bekerja mirip seperti SCR yang paralel bolak-balik, sehingga dapat melewatkan arus dua arah. Pada *datasheet* akan lebih detail diberikan besar parameter-parameter seperti V_{bo} dan $-V_{bo}$, lalu I_{GT} dan $-I_{GT}$, I_h serta $-I_h$ dan sebagainya. Umumnya besar parameter ini simetris antara yang plus dan yang minus. Dalam perhitungan desain, bisa dianggap parameter ini simetris sehingga lebih mudah di hitung.



Gambar 4. 23 Rangkaian Aplikasi TRIAC (*Dimmer*)

Jika diketahui I_{GT} dari TRIAC pada rangkaian di atas 10 mA dan $V_{GT} = 0.7$ volt. Lalu diketahui juga yang digunakan adalah sebuah DIAC dengan $V_{bo} = 20$ V, maka dapat dihitung TRIAC akan ON pada tegangan :

$$V = I_{GT}(R) + V_{bo} + V_{GT} = 120.7 \text{ V}$$



Gambar 4. 24 Bentuk Gelombang pada Beban

Pada rangkaian dimmer, resistor R biasanya diganti dengan rangkaian seri resistor dan potensiometer. Di sini kapasitor C bersama rangkaian R digunakan untuk menggeser fasa tegangan V_{AC} . Lampu dapat diatur menyala redup dan terang, tergantung pada saat kapan TRIAC di picu.

Beban Komplemen/Beban Ballast (Ballast load)

Beban komplemen digunakan sebagai tempat pengalihan daya dari perubahan yang terjadi pada beban sebenarnya dengan tujuan untuk menjaga agar putaran generator tetap konstan meskipun terjadi perubahan arus pada beban sebenarnya.

Beban konsumen pada PLTMH sebagian besar berupa beban penerangan untuk kebutuhan rumah tangga. Karenanya penyaluran daya yang dibutuhkan adalah per fasa, sehingga akan terjadi ketidakseimbangan daya. Sensor arus pada setiap fasa pada beban komplemen akan memberikan beban yang tetap konstan dan seimbang. PLTMH akan mengalirkan arus ke beban konsumen pada setiap fasa melalui trafo arus sebagai sensor arus dari panel kontrol beban komplemen. Arus sensor ini berperan sebagai input pada rangkaian kontrol. Besar arus sensor senantiasa sebanding dengan besar arus beban konsumen atau arus total generator pada setiap fasa. Fungsi arus sensor diubah dari yang semula fungsi arus menjadi fungsi tegangan, kemudian masuk ke rangkaian konverter. Di sini bentuk tegangan diubah menjadi tegangan searah sinus setengah gelombang. Oleh rangkaian operational amplifier (Op-Amp), bentuk tegangan ini akan diubah menjadi gelombang segitiga, dan selanjutnya akan dibandingkan dengan gelombang gigi gergaji yang nilainya konstan. Gelombang gigi

gergaji dan gelombang segitiga mempunyai perioda yang sama, karena keduanya berasal dari sumber jala-jala yang sama dengan frekuensi 50 Hz. Besar tegangan gelombang segitiga akan dipengaruhi oleh perbandingan besar arus sensor dan tegangan referensi pada rangkaian setting kapasitas. Hasil perbandingan ini akan menentukan apakah outputnya berupa pulsa lebar ataukah pulsa sempit. Selanjutnya output tersebut akan masuk ke rangkaian logik bersama dengan pulsa cacah yang dihasilkan oleh rangkaian osilator konstan. Output rangkaian logik akan menginjeksi trafo pulsa melalui rangkaian darlington. Output trafo pulsa akan memberikan sudut kelambatan penyalaan pada pulsa dua buah SCR yang dipasang anti paralel. Sudut kelambatan pernyataan ini akan dipengaruhi oleh perubahan beban. Jika beban konsumen besar, maka sudut kelambatan penyalaan akan membesar pula. Hal ini akan menyebabkan konduktifitas pada SCR mengecil sehingga daya yang disalurkan ke beban komplemen juga kecil. Demikian pula sebaliknya, sehingga total beban akan tetap konstan.

Beban *ballast* hanya digunakan pada PLTMH dengan pemakaian kontroll beban (ELC/IGC) sedangkan pada PLTMh tanpa kontrol tidak menggunakan beban *ballast*. Pada PLTMh tanpa menggunakan kontrol, tegangan dan frekuensi akan naik dan turun sesuai dengan perubahan beban konsumen, hal ini akan mengakibatkan lampu dan peralatan elektronik akan cepat rusak.



Gambar 4. 25 Beban *ballast* berupa elemen pemanas udara

Beban *ballast* digunakan untuk membuang energi listrik yang dibangkitkan oleh generator tetapi tidak terpakai oleh konsumen, sehingga daya yang dihasilkan generator dengan daya yang dipakai akan seimbang. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga tegangan dan frekuensi generator tetap stabil.

Kontaktor Magnet (Magnetic Contactor)

Magnetic Contactor (MC) adalah sebuah komponen yang berfungsi sebagai penghubung/kontak dengan kapasitas yang besar dengan menggunakan daya minimal. Dapat dibayangkan MC adalah relay dengan kapasitas yang besar. Umumnya MC terdiri dari 3 pole kontak utama dan kontak bantu (*aux. contact*). Untuk menghubungkan kontak utama hanya dengan cara memberikan tegangan pada koil MC sesuai spesifikasinya.



Gambar 4. 26 Kontaktor Magnet

Komponen utama sebuah MC adalah koil dan kontak utama. Koil dipergunakan untuk menghasilkan medan magnet yang akan menarik kontak utama sehingga terhubung pada masing-masing pole.

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

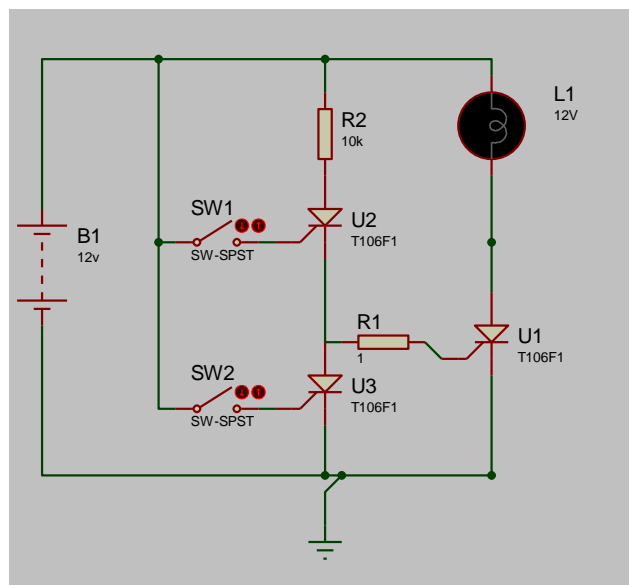
1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Komponen dan rangkaian kontrol PLTMh? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan LK-4.0. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

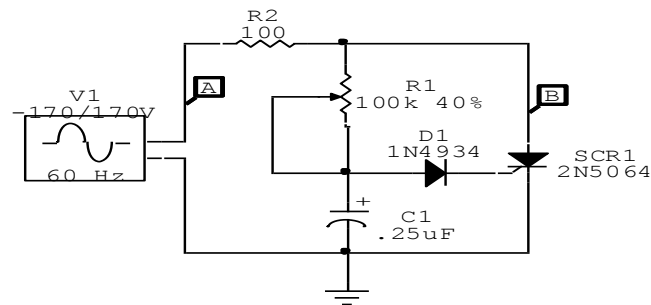
Aktivitas 1

1. Bagaimana kondisi SW1 dan SW2 agar lampu L1 menyala (seperti terlihat pada Gambar 4.27)?



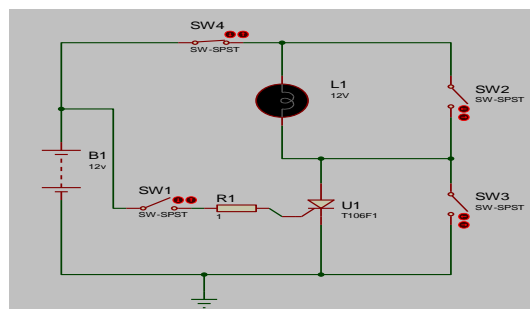
Gambar 4. 27Rangkaian SCR

2. Bagaimana bentuk gelombang pada titik B

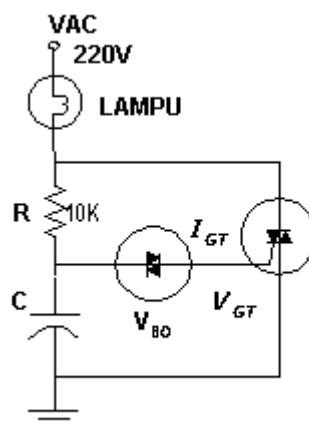


Gambar 3. 28 Rangkaian Pengukuran Bentuk gelombang

3. Lihatlah Gambar 4.29. Setelah S1 terhubung dan dilepas lagi maka SCR aktif. Bagaimana kondisi lampu pada saat S2,S3 dan S4 setelah ditekan dan dilepas kembali?



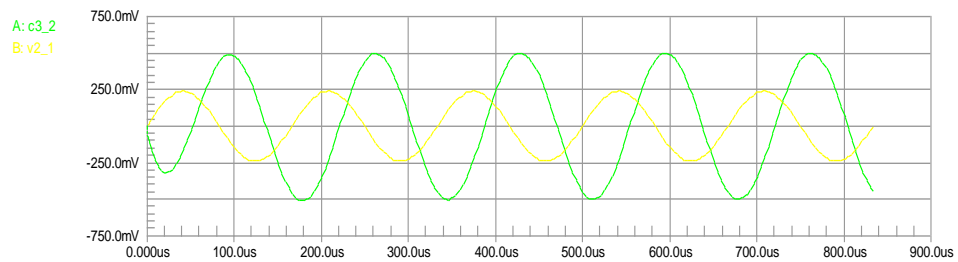
Gambar 4. 29 Rangkaian SCR Dengan Tegangan DC



Gambar 4. 30 Rangkaian Triac Dimmer

4. Gambarkan gelombang yang terjadi antara kaki T1 dan T2 pada rangkaian Gambar 4.30 diatas?

5. Pada saat V_{GT} dengan tegangan Sumber se phase maka bagaimana keadaan lampu?
6. Dari bentuk gelombang pada Gambar 4.31, gambarkan bentuk tegangan pada beban jika trigger berwarna kuning dan sumber berwarna hijau.



Gambar 4. 31 Bentuk gelombang *trigger*

7. Buatlah program PWM (modulasi lebar pulsa) pada mikrokontrol ATMega8535 (BASCOM) untuk membuang daya sebesar 70% ke beban *ballast* (Frekuensi PWM Sebesar 1KHz)! Ubah sedikit parameter yang ada pada contoh program “hello word”. Gambarkan rangkaiannya!

Aktivitas 2

Untuk memperdalam pemahaman terhadap materi ini lakukan praktik pada :

1. Rangkaian konverter frekuensi ke tegangan
2. Rangkaian Kontrol Proporsional
3. Rangkaian Integrator
4. Rangkaian PWM

Gunakan Lembar Kerja 4.2

E. Rangkuman

Bagian-bagian utama Kontrol Beban Elektronika pada PLTMh terdiri dari :

- a. Sensor dan Rangkaian Kontrol ;
- b. Sakelar Elektronik (*Thyristor*)
- c. Beban Komplemen (*Ballast load*)
- d. Kontaktor Magnet (*Magnetic Contactor*).

Rangkaian sensor terdiri dari sensor tegangan dan Sensor frekuensi. Untuk bekerja pada sinyal tegangan atau arus maka frekuensi tersebut dapat diubah menjadi besaran tegangan analog. Untuk bekerja pada Rangkaian digital besaran analog tersebut (baik tegangan maupun frekuensi) diubah kedalam bentuk angka atau numerik. Rangkaian kontrol terdiri dari rangkaian Rangkaian elektronika analog (rangkaian proporsional, integrator dan diferensiator) dan rangkaian Elektronika Digital (Mikrokontroler).

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer lengkap dalam satu serpih(*chip*). Mikrokontroler lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa Port masukan maupun keluaran, dan beberapa peripheral seperti pencacah/pewaktu, ADC (*Analog to Digital converter*), DAC (*Digital to Analog converter*) dan serial komunikasi.

F. Test Formatif

1. Sebutkan empat bagian utama yang ada pada pengontrol beban elektronika pada kontrol PLTMh.
2. Sebutkan dan jelaskan 3 jenis sensor yang digunakan pada kontrol PLTMh.
3. Gambarkan rangkaian proporsional dengan OP-amp !
4. Gambarkan rangkaian integrator dengan OP-amp !
5. Gambarkan rangkaian derivatif dengan OP-amp !
6. Apa manfaat rangkaian subtractor pada sistem kontrol?
7. Apa manfaat rangkaian PWM pada sistem kontrol PLTMH?
8. Apa yang dimaksud dengan Mikrokontroler
9. Sebutkan fitur-fitur Mikrokontroler ATmega 8535.

Lembar Kerja Peserta Didik

LK-4.0

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Komponen dan Rangkaian Kontrol? Sebutkan!

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

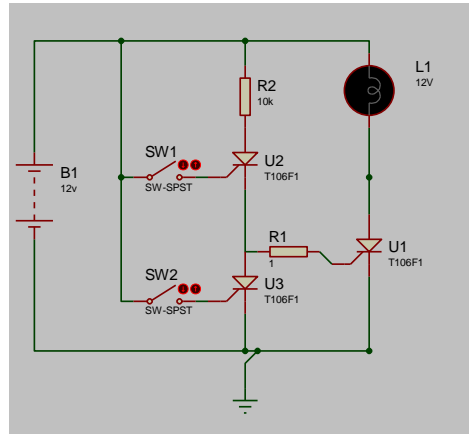
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

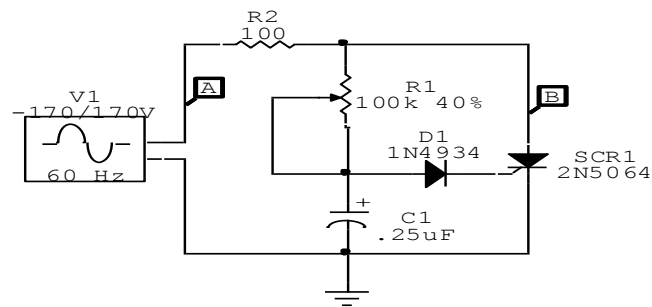
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

LK-4.1

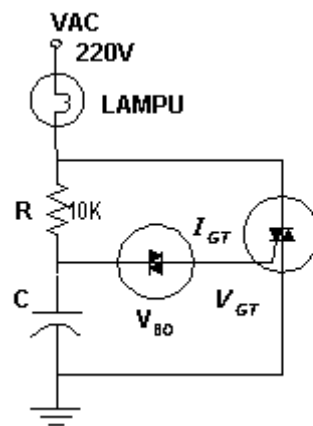
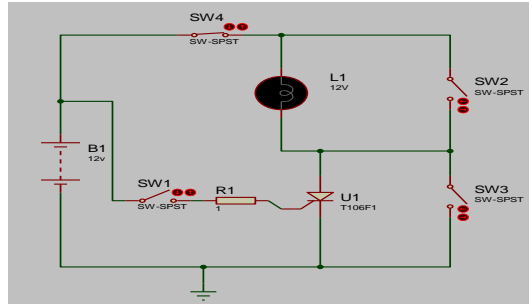
1. Bagaimana kondisi SW1 dan SW2 agar lampu L1 menyala (seperti terlihat pada Gambar 4.27)?



2. Bagaimana bentuk gelombang pada titik B



3. Setelah S1 terhubung dan dilepas lagi maka SCR aktif. Bagaimana kondisi lampu pada saat S2,S3 dan S4 setelah ditekan dan dilepas kembali?

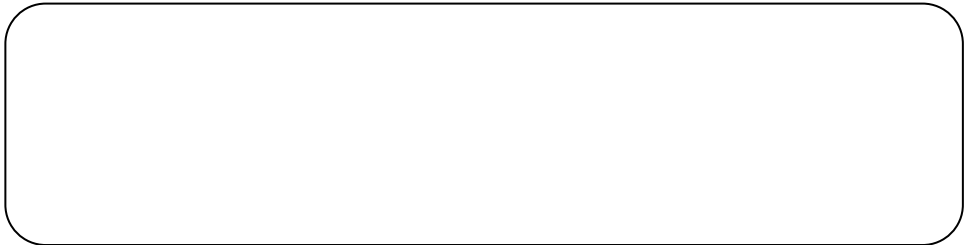


4. Gambarkan gelombang yang terjadi antara kaki T1 dan T2 pada rangkaian Gambar 4.30 diatas?

5. Pada saat V_{GT} dengan tegangan Sumber se phase maka bagaimana keadaan lampu?

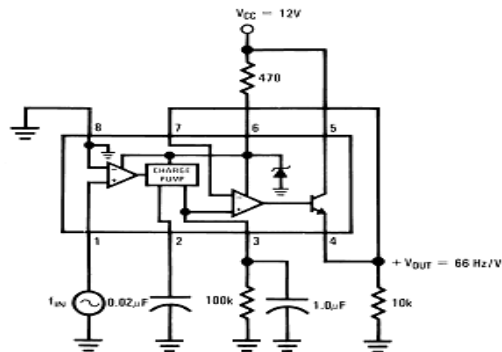


6. Dari bentuk gelombang tersebut, gambarkan bentuk tegangan pada beban jika trigger berwarna kuning dan sumber berwarna hijau.



LK-4.2

1. Praktikum Konverter frekuensi Ke tegangan



Gambar 4. 32 Konverter Frekuensi ke Tegangan

Peralatan :

1. Voltmeter
2. Function generator
3. Rangkaian konverter Frekuensi ke tegangan

Langkah Kerja :

1. Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 4.32.
2. Berikan tegangan 10Vpp dengan frekuensi mulai dari 40-70 Hz pada pin no 1.
3. Ukur tegangan pada pin 4.
4. Isillah Vout pada tabel.

No	f(in)	Vout		No	f(in)	Vout
1	40			15	58	
2	45			16	59	
3	46			17	60	
4	47			18	61	
5	48			19	62	
6	49			20	63	

7	50			21	64	
8	51			22	65	
9	52			23	66	
10	53			24	67	
11	54			25	68	
12	55			26	69	
13	56			27	70	
14	57			28	71	

5. Gambarkan grafik hubungan V_{out} dengan f_{input}

6. Apa yang dapat disimpulkan dari hasil pengamatan tersebut?

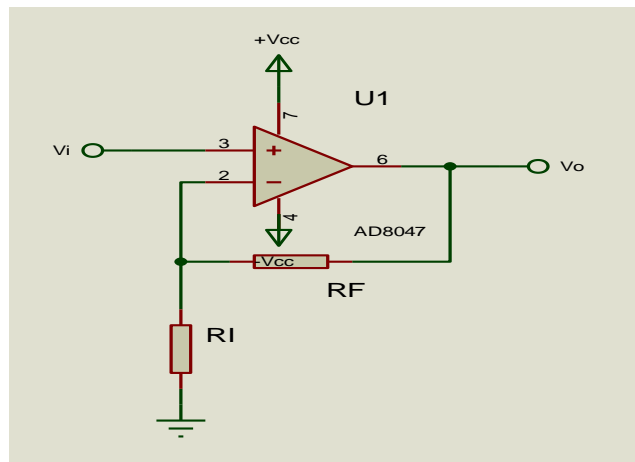
2. Praktikum Rangkaian Proporsional

Peralatan :

1. Modul rangkaian integrator
2. Osiloskop
3. Function generator

Langkah kerja :

1. Buat rangkaian seperti Gambar 4.33. berikut ini :



Gambar 4. 33 Rangkaian Proporsional

Dengan $R1 = 1K\Omega$, dan $RF = 10K\Omega$

2. Masukan gelombang sinusoidal dari 100-500mVpp pada frekuensi 1KHz !
3. Hubungkan output pada probe osiloskop, atur Volt/div pada 2V dan atur Time/div sehingga muncul 3 gelombang kotak.
4. Isilah Tabel berikut :

No	Frekuensi	Tegangan	Bentuk Gelombang Satu Periode	Ket
1	500	100		
2	500	200		
3	500	300		
4	500	400		
5	500	500		
6	1K	100		
7	1K	200		
8	1K	300		

9	1K	400		
10	1K	500		
11	2K	100		
12	2K	200		
13	2K	300		
14	2K	400		
15	2K	500		

5. Buat grafik hubungan antara tegangan input (x) dengan tegangan output (y)
6. Apa yang dapat disimpulkan dari data di atas?
7. Apa pengaruh perubahan frekuensi terhadap tegangan output?
8. Buatlah laporan

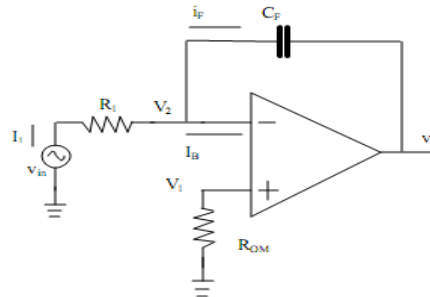
3. Praktikum Rangkaian Integrator

Peralatan :

1. Modul rangkaian integrator
2. Osiloskop
3. Function generator

Langkah kerja :

1. Buat rangkaian seperti gambar berikut ini :



Gambar 4. 34 Rangkaian integrator

Dengan $R = 1\text{K}\Omega$, dan $C_F = 100\text{nF}$, $R_{OM} = 100\Omega$

2. Masukan gelombang persegi 100mVpp pada frekuensi 1KHz !
3. Hubungkan output pada probe osiloskop, atur Volt/div pada 2V dan atur Time/div sehingga muncul 3 gelombang kotak.
4. Isilah Tabel berikut :

No	Frekuensi	Tegangan	Bentuk Gelombang Satu Perioda	Ket
1	100			
2	200			
3	500			
4	1K			
5	2K			
6	5K			
7	10K			
8	12K			

9	15K			
10	20K			

5. Buat grafik hubungan antara frekuensi input (x) dengan tegangan output (y).
6. Apa yang dapat disimpulkan dari data di atas?
7. Buatlah laporan!

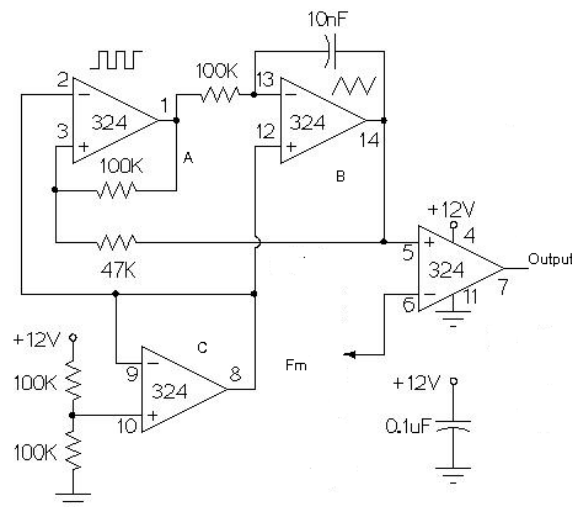
4. Rangkaian PWM

Peralatan :

- Modul PWM
- Tegangan DC Variabel
- Osiloskop

Langkah kerja :

1. Buat rangkaian seperti gambar berikut ini :



Gambar 4. 35 Rangkaian PWM

2. Hubungkan output pada probe osiloskop, atur Volt/div pada 2V dan atur Time/div sehingga muncul 3 gelombang kotak.
3. Masukkan tegangan DC (0-10V) pada input Fm atau pin 6 dari IC LM324!
4. Isilah Tabel berikut :

No	Fm(Volt)	Siklus Aktif(uS)	Perioda		No	f(in)	Siklus Aktif	Perioda
1	0				15	7		
2	0.5				16	7.5		
3	1				17	8		
4	1.5				18	8.5		
5	2				19	9		
6	2.5				20	9.5		
7	3				21	10		
8	3.5				22	10.5		
9	4				23	11.5		
10	4.5				24	12		
11	5							
12	5.5							
13	6							
14	6.5							

5. Buat grafik hubungan antara tegangan input (x) dengan Siklus aktif (y)
6. Apa yang dapat disimpulkan dari data di atas
7. Buatlah laporan!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : DESAIN KONTROL BEBAN SECARA ELEKTRONIKA DAN DIGITAL

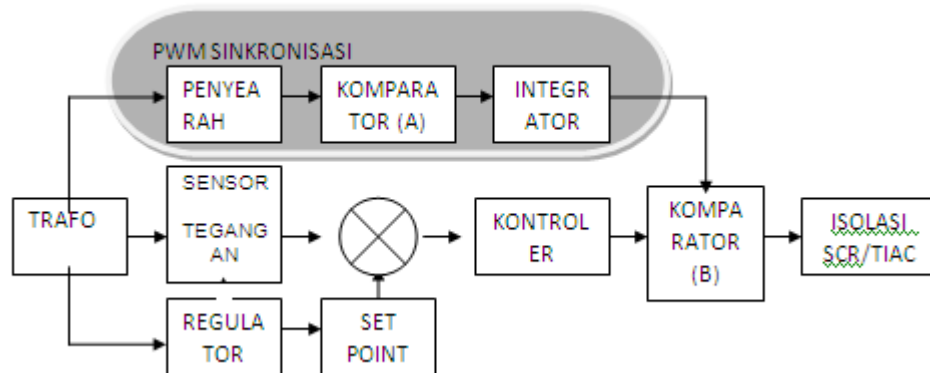
A. Tujuan

- Melalui mengamati peserta diklat dapat memahami kekurangan dan kelebihan dari regulasi kontrol beban
- Melalui mencoba peserta diklat dapat merencanakan rangkaian ELC dengan penggerak IGBT.
- Melalui mencoba peserta diklat dapat merencanakan rangkaian ELC dengan penggerak Thiristor.
- Melalui mencoba peserta diklat dapat merencanakan rangkaian DLC dengan metode Diskrit PID berbasis mikrokontroler.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

- Memahami kekurangan dan kelebihan dari regulasi kontrol beban
- Merencanakan rangkaian ELC dengan penggerak IGBT.
- Merencanakan rangkaian ELC dengan penggerak Thyristor.
- Merencanakan rangkaian DLC dengan metode Diskrit PID berbasis mikrokontroler.

C. Uraian Materi



Gambar 5. 1 Diagram Blok Rangkaian sistem kontrol PLTMh

Coba anda perhatikan Gambar 5.1 diagram blok rangkaian sistem kontrol PLTMh. Apa yang anda ketahui dengan masing-masing blok tersebut? Bagaimana rangkaian dari blok komponen tersebut? Apa regulasi jenis kontrol beban tersebut? Coba diskusikan dengan teman desain *Electronic Load Controller* dan *Digital Load Controller*. Bacalah buku bahan ajar ini atau informasi dari sumber lain untuk mendapatkan informasi yang lebih dalam, baik dari internet atau buku sumber lainnya, presentasikan setelah diskusi selesai.

Jenis-Jenis Kontrol Beban

Sampai saat ini, beberapa desain regulasi ELC yang sudah ada diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Regulasi Beban Biner
2. Regulasi sudut phasa
3. Regulasi Lebar pulsa (PWM)
4. Regulasi Penyearah jembatan
5. Regulasi penyearah dengan chooper.

Regulasi Beban Biner

Komponen yang digunakan dapat menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*) atau mikrokontroler. Untuk 8 buah beban *ballast* akan menghasilkan $2^8=256$ step pembuangan daya. Sebagai contoh pembangkit 2KW menggunakan regulasi beban biner. Resistor *ballast* yang digunakan adalah seperti pada tabel 4.1.

Tabel 5. 1 Resistor Ballast

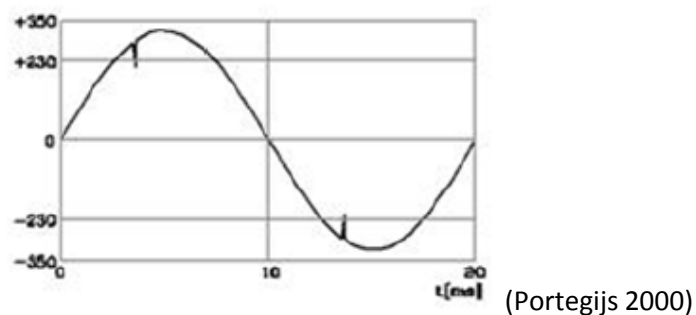
IT N	RU MUS	D AYA	RESIST OR(Ω)
it 7	2K W/2	1 KW	5
it 6	2K W/4	5 00W	10
it 5	2K W/8	2 50W	20
it 4	2K W/16	1 25W	40
it 3	2K W/32	6 3 W	60
it	2K W/64	3 2W	120

2			
it 1	2K $W/128$	1 $6W$	240
it 0	2K $W/256$	8 W	480

Pada saat aktif semua = daya semua terbang ke *ballast*. Pada saat hanya bit 7 yang aktif = $\frac{1}{2}$ daya terbang ke *ballast*. Pada saat tidak aktif semua = daya semua terpakai ke beban konsumen

Keuntungan :

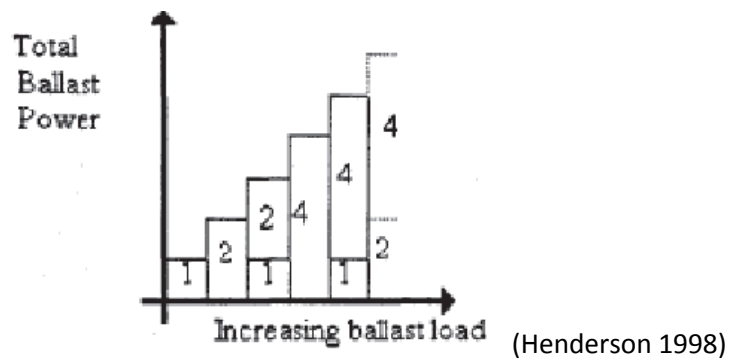
Salah satu keuntungan dari regulasi beban biner adalah hampir tidak ada Harmonik.



Gambar 5. 2 Bentuk Gelombang Regulasi Beban Biner

Kerugian :

- Ukuran beban yang tetap
- Efektifitas ditentukan oleh jumlah beban *ballast*

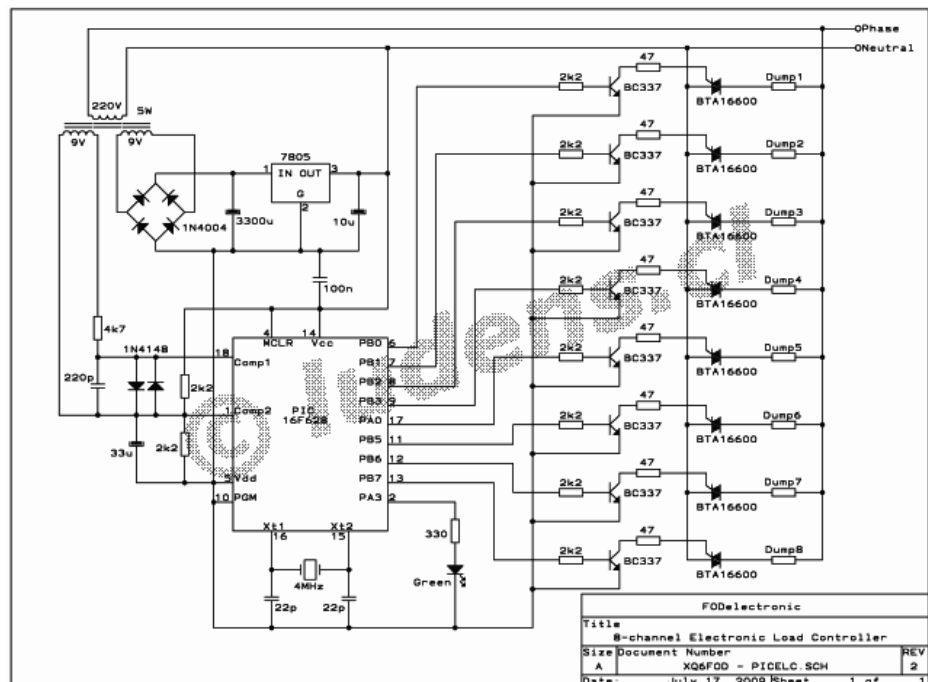


Gambar 5. 3 Hubungan Daya *ballast* terhadap jumlah *ballast*

Tabel 5. 2 Tabel Pemilihan Ballast pada daya yang diinginkan

Bank Resistance	Bank Power @ 240V	Spaces Used	372W Total	744W Total	1488W Total	2976W Total
37.5W	1536W	8	---	---	---	1R
75W	768W	4	---	---	1R	2R
150W	384W	2	---	1R	2R	4R
300W	192W	1	1R	2R	4R	8R
600W	96W	1	2R	4R	8R	16R
1200W	48W	1	4R	8R	16R	---
2400W	24W	1	8R	16R	---	---
4800W	12W	1	16R	---	---	---
Total Spaces Required:			5	6	9	16
Cabinets Required:			1	1	2	3
Cabinet Dimensions without mounting brackets (W / D / H)			14.4"	14.4"	28.8"	43.2"
			14.4"	14.4"	14.4"	14.4"
			4.5"	4.5"	4.5"	4.5"

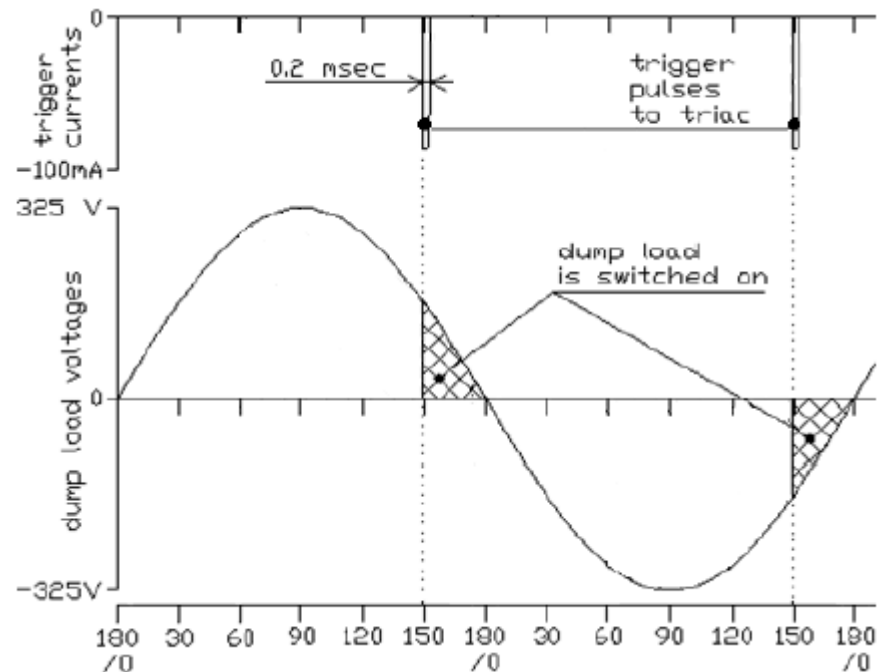
Kode program ada pada Lampiran.



Gambar 5. 4 Rangkaian DLC Beban Biner

Regulasi sudut phasa

Pada regulasi ini komponen penggeraknya adalah SCR atau TRIAC.



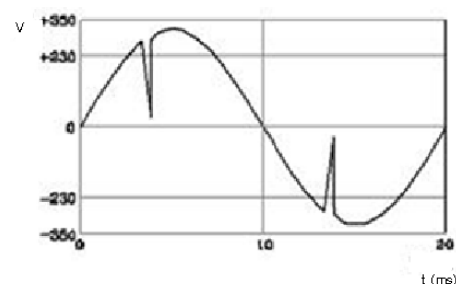
Gambar 5. 5 Rangkaian DLC Beban Biner

Keuntungan :

- Dapat menggunakan beberapa beban *ballast*.

Kerugian :

- Harmonik terlalu besar.
- Efektifitas dibatasi dengan ketepatan sudut penyalaan.



Gambar 5. 6 Harmonik PAda regulasi sudut phasa

Regulasi Modulasi Lebar pulsa (PWM)

Menggunakan modulasi lebar pulsa dengan frekuensi yang jauh lebih tinggi dibanding tegangan jala-jala. Pembuangan daya pada tegangan DC dan dilakukan dengan cepat tergantung frekuensi *carrier*. Sehingga menghasilkan pembuangan daya yang halus dan tidak terjadi kejutan seperti pada *trigger* fasa.

Keuntungan :

- Hampir tidak ada harmonik.

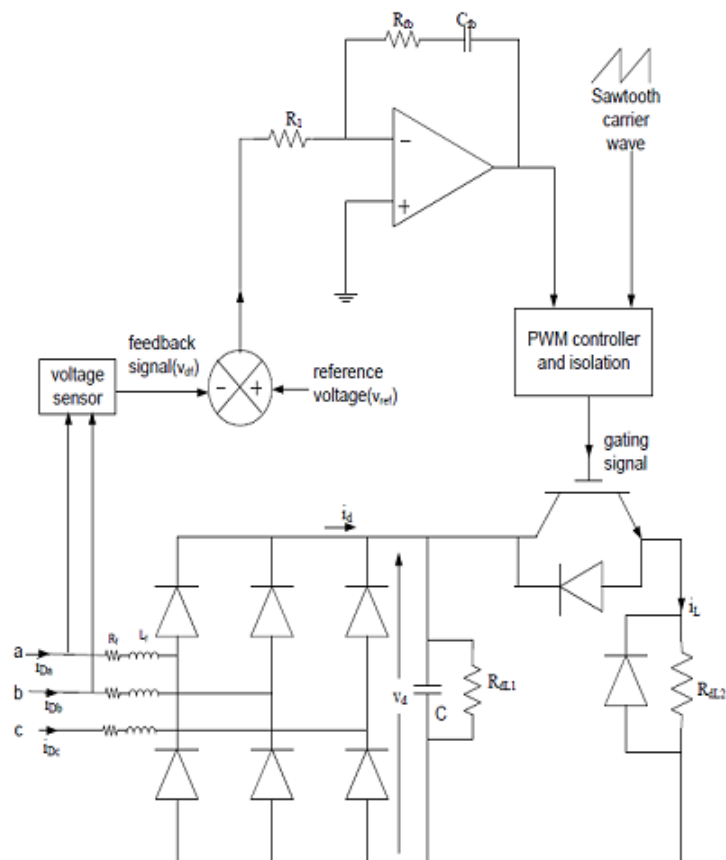
Kerugian :

- Memerlukan rangkaian penyearah yang pada daya besar perlu diperhitungkan
- Menggunakan MOSFET, IGBT yang pada daya besar perlu diperhitungkan.

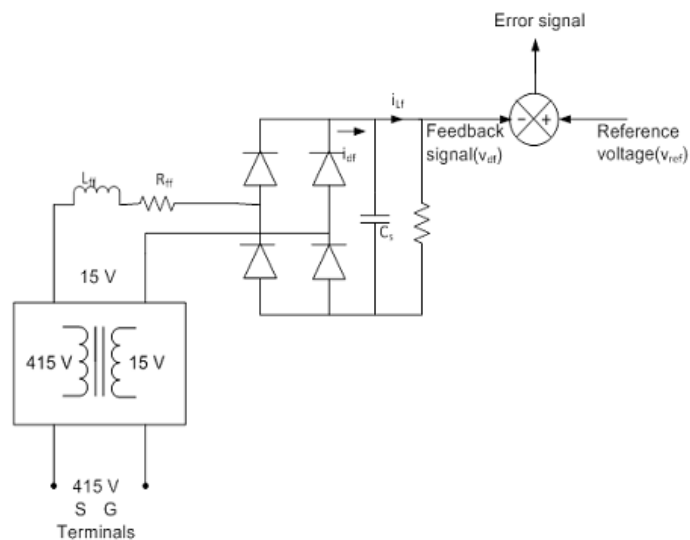
Desain Electronic Load Control (ELC)

ELC Dengan Penggerak IGBT

Pada Gambar 5.7 diperlihatkan rangkaian ELC dengan regulasi mode PWM yang menggunakan penggerak akhir IGBT. Pada rangkaian ini diperlukan rangkaian penyearah karena IGBT bekerja pada tegangan DC. Kelebihan dari rangkaian ini adalah tidak memerlukan sinkronisasi untuk sudut penyalan. Selain itu pembuangan daya pada beban bisa lebih halus, karena frekuensi pembuangan jauh lebih tinggi dari frekuensi generator. Pada Gambar 5.7 diperlihatkan kontrol PI dengan sebuah OP-AMP. Sebagai contoh jika frekuensi PWM yang digunakan adalah 50KHz pada 50Hz tegangan jala-jala, maka dalam satu perioda dapat terjadi pembuangan ke beban *ballast* selama 1000 x.



Gambar 5. 7 Rangkaian ELC dengan regulasi mode PWM



Gambar 5. 8 Rangkaian sensor tegangan

Prinsip kerja rangkaian ELC dengan penggerak IGBT.

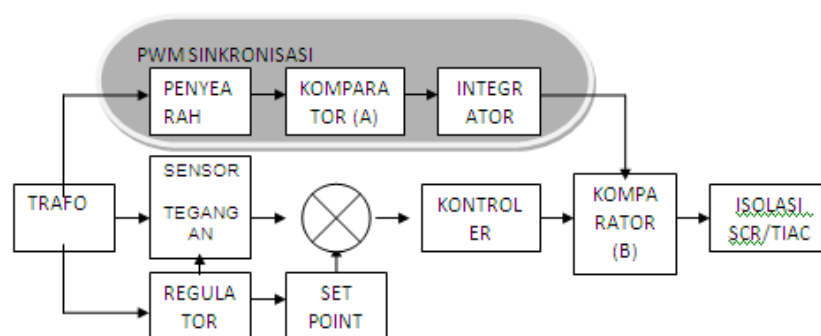
Sensor tegangan secara langsung. Sensor tegangan yang diperoleh secara langsung dari output generator dengan tegangnya terlebih dulu di turunkan dengan transformator yang kemudian disearahkan dan difilter. Hasilnya dibandingkan dengan tegangan set point sehingga menghasilkan tegangan selisih atau sinyal kesalahan.

Tegangan kesalahan ini dijadikan input oleh kontrol proses proporsional integrator melalui OP-AMP. Besarnya tegangan output digunakan untuk mengontrol lebar Pulsa yang mengendalikan saklar IGBT. Semakin tinggi tegangan *error* semakin lebar pulsa aktif dari PWM dan sebaliknya. Semakin lebar pulsa aktif PWM maka beban yang dibuang ke beban komplemen semakin besar dan begitu juga sebaliknya.

ELC dengan Penggerak Thyristor

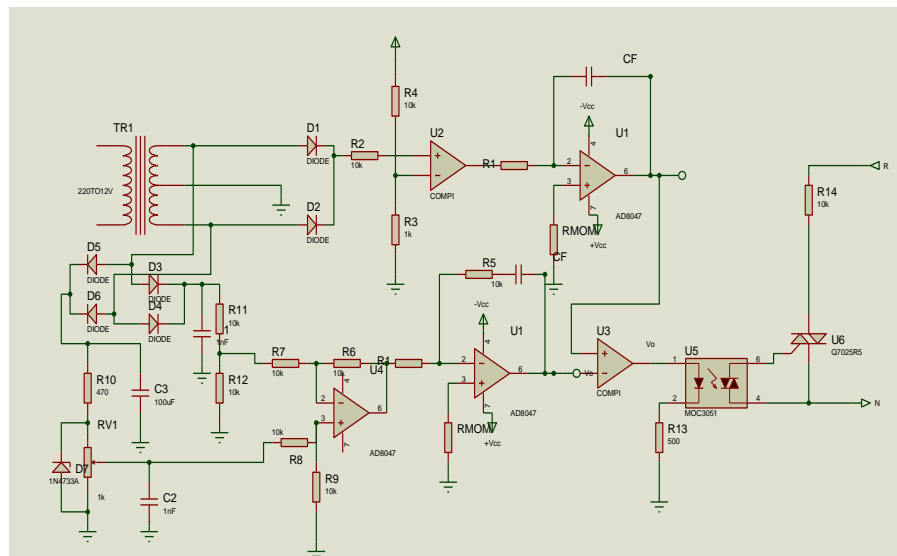
ELC diatas umumnya beroperasi untuk daya rendah atau dapat pula untuk generator DC. Untuk daya tinggi umumnya menggunakan thyristor sebagai penggerak outputnya. Ada beberapa perbedaan jika menggunakan ELC dengan penggerak thyristor

1. Pada Penggerak thyristor tidak perlu penyearah
2. Pada Penggerak thyristor perlu rangkaian pendeteksi nol. Pendeteksi nol ini digunakan untuk sinkronisasi fase sudut 0° .



Gambar 5. 9 Diagram ELC analog dengan penggerak SCR / Triac

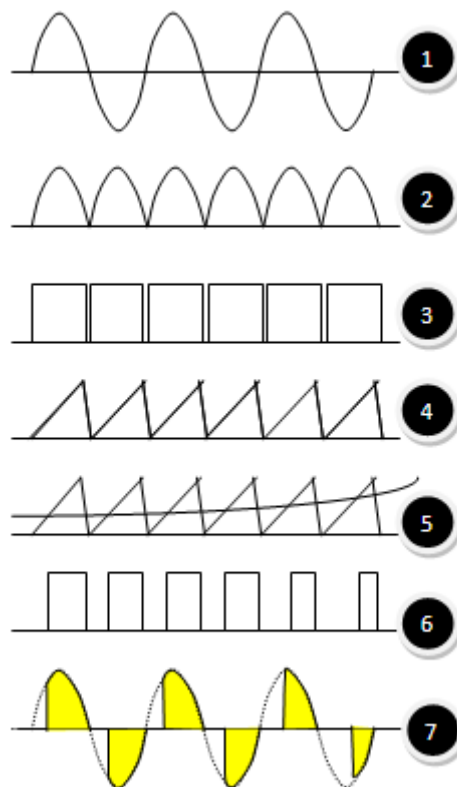
Berikut ini adalah rangkaian ELC yang disederhanakan dengan PWM tersinkronisasi.



Gambar 5. 10 Rangkaian ELC Dengan Sinkronisasi PWM

Prinsip Kerja rangkaian ELC penggerak SCR

Tegangan *error*, tegangan referensi, dan sinkronisasi diambil dari sumber yang sama yaitu output generator. Rangkaian ini menggunakan sensor tegangan secara langsung melalui transformator. Tegangan yang masih AC di searahkan menggunakan diode D3, D4 dan difilter menggunakan C1. Tegangan DC ini harus dapat mengikuti perubahan tegangan masukan AC. Tegangan *Setpoint* dibuat terpisah yang harus benar-benar teregulasi dari tegangan input yang berubah. Dioda zener D7 inilah yang digunakan untuk menstabilkan tegangan referensi bersamaan dengan filter C3. U4 sebagai rangkaian pengurang akan menghasilkan *error* atau selisih antara tegangan *Setpoint* dengan tegangan dari sensor. U1 sebagai kontrol PI/ proporsional dan Integrator. Nilai R dan C ini yang harus ditala agar menghasilkan sistem yang stabil.



Gambar 5. 11 Bentuk Gelombang dari masing-masing blok

Keterangan Gambar 5.10 berdasarkan output blok diagram pada Gambar 5.9 :

1. Keluaran Trafo
2. Input Komparator A (tegangan *offset* dan tegangan setengah gelombang penuh)
3. Keluaran Komparator
4. Keluaran Integrator
5. Input Komparator B (tegangan keluaran kontrol dan gelombang gigigergaji)
6. Keluaran Komparator B (PWM)
7. Keluaran Triac pada *ballast*

Bagian atas adalah pembentuk PWM tersinkronisasi artinya frekuensinya akan dua kali frekuensi sumber dengan fase yang sama. D1 dan D2 menghasilkan penyearah gelombang penuh. Dengan dimasukan ke komparator U2 dibandingkan dengan tegangan sedikit diatas 0V maka setengah gelombang penuh itu akan menghasilkan gelombang kotak. Gelombang kotak ini di umpankan lagi ke rangkaian integrator U4

yang akan menghasilkan gelombang gigi gergaji. Gelombang gigigergaji dibandingkan dengan keluaran kontroler melalui komparator U3 menghasilkan gelombang PWM. Gelombang ini yang mengatur prosentase konduksi dari rangkaian SCR atau Triac.

Desain Digital Load Control (DLC)

Spesifikasi DLC

Frekuensi Kerja 50Hz atau 60Hz

Tegangan output 230V

Indikator : LED Kuning Frekuensi minimum <48Hz

Led Merah Frekuensi >52Hz

Led Hijau Frekuensi kerja normal 48 sd52Hz

Ballast load = 2

Proses : PID dapat diatur

Output : optocoupler

Arus SCR Max = 2 X 15A

Time Step = 100ms

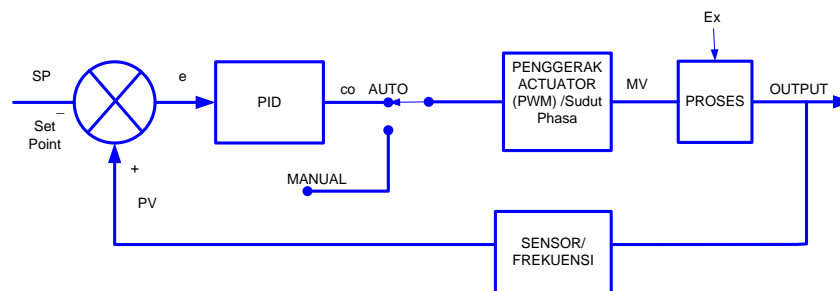
Frekuensi dapat dimonitor di komputer (untuk pembelajaran dan mengetahui respon sistem)

Ada relay proteksi : jika selama 1 detik secara terus menerus di atas atau di bawah frekuensi kerja akan droop

Akurasi input = 0,5uS

Akurasi Output = 2Us

Rancangan Sistem DLC berbasis Mikrokontroler



Gambar 5. 12 Diagram Blok Rancangan DLC berbasis Mikrokontroler

Kualitas listrik bergantung dari 3 parameter keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit. Ketiga parameter tersebut diantaranya adalah Tegangan dan frekuensi yang tetap yaitu 230v/50Hz serta bentuk gelombang sinusoidal.

Pada generator Sinkron frekuensi dan tegangan mempunyai hubungan yang *linear*. Oleh karena itu Anda dapat mengambil salah satu dari parameter keluaran yang dikendalikan.

Dalam hal ini diambil frekuensi yang dideteksi dari output. Frekuensi ini dipertahankan pada set point 50Hz .

Mengukur Frekuensi

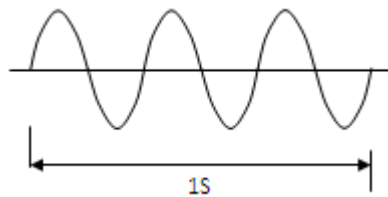
Frekuensi dapat diartikan sebagai banyaknya getaran dalam satu detik. Pada generator sinkron, parameter frekuensi ini dapat dijadikan acuan untuk mengendalikan tegangan keluaran generator. Frekuensi dapat diukur dengan berbagai cara. Secara digital dan analog , secara mekanik dan elektrik. Ada dua metoda yang dapat digunakan dalam mengukur frekuensi gelombang listrik yaitu secara langsung dan secara tidak langsung.

1. Secara Langsung

Metode ini menggunakan counter untuk menghitung jumlah pulsa perdetik. Gelombang sinus diubah menjadi gelombang kotak / pulsa kemudian dimasukan ke counter. Pada penerapannya tidak dihitung semua dalam satu detik tapi

menggunakan sampel. Cara ini cocok digunakan untuk mengukur frekuensi tinggi dengan waktu sampel yang cepat. Waktu Sampel ini digunakan untuk keakuratan pengukuran.

Metoda ini ada kelemahan dalam mengukur frekuensi rendah yaitu untuk hasil yang akurat waktu sampel harus lama. Sebagai contoh frekuensi 50Hz diukur dalam waktu 1 detik akan menghasilkan nilai bilangan bulat, Jika diukur selama 10 detik akan menghasilkan 1 desimal dibelakang koma.



Gambar 5. 13 Pengukuran jumlah gelombang perdetik

2. Secara tidak langsung

Metoda secara tidak langsung dilakukan dengan mengukur perioda per satu gelombang ($T=1/f$). Prinsip kerjanya seperti stop watch yaitu mengukur aktifitas dengan menjalankan timer diawal dan setelah selesai aktifitas timer dihentikan nilainya tertera pada alat tersebut. Sebagai contoh untuk frekuensi 50 Hz maka akan diperoleh $1/50 = 1000\text{ms}/50 = 20\text{ms}$. Untuk gelombang sinusoidal hanya diperlukan setengah gelombang, maka $\frac{1}{2}$ gelombang $T=1/2f = 10\text{ms}$. Ketelitian menghitung dalam desain ini ditentukan oleh frekuensi atau perioda pencacah(τ). Semakin kecil perioda pencacah semakin akurat. Sebagai contoh Perioda pencacah yang digunakan sebesar 0,5 μs , sehingga jika $f = 50\text{Hz}$, maka setengah perioda $= 10\text{ms}$ setara dengan

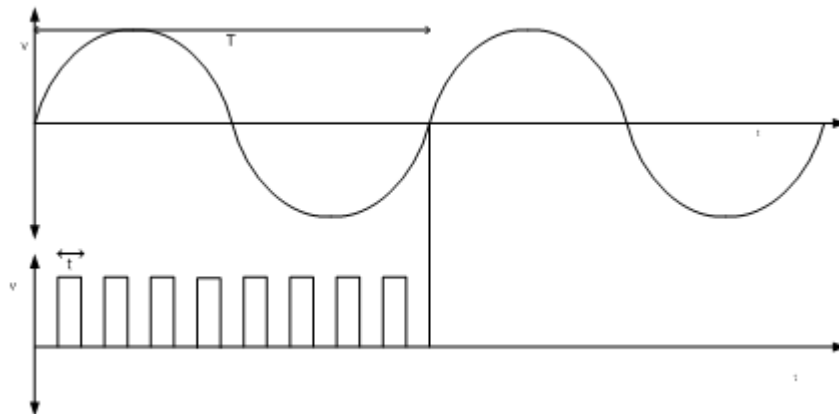
$$\text{Jumlah pulsa (n)} = T/\tau$$

$$10\text{ms}/0,5\mu\text{s}$$

$$= 20000$$

$$0,5 \times 10 = 20.000 \text{ satuan. Atau dapat mengukur ketelitian } 50/20000 = 1/400 \text{ Hz.}$$

Metoda pengukuran frekuensi secara tidak langsung.



Gambar 5. 14 Menghitung perioda dari satu gelombang

Nilai 20.000 ini digunakan untuk menentukan nilai *Setpoint*.

Soal :

Jika Rentang frekuensi yang diperbolehkan adalah 48Hz sampai 52Hz maka berapa rentang jumlah pulsa (n) tersebut dengan perioda pencacah sebesar 0,5uS dan pengukuran dilakukan pada setengah perioda ?

Jawab :

Diketahui : $f_1=48\text{Hz}$, $f_2=52\text{Hz}$, $t=0,5\mu\text{S}$

$$T_1 = 1/2f_1 \rightarrow 1/96 = 10,416\text{mS}$$

$$T_2 = 1/2f_2 \rightarrow 1/104 = 9,615\text{mS}$$

$$\text{Jumlah Pulsa 1} = T_1/t = 10,416/0.5 = 20832$$

$$\text{Jumlah Pulsa 2} = T_2/t = 9,615/0.5 = 19230$$

Berikut adalah contoh kode program mengukur frekuensi/ dalam hal ini jumlah pulsa menggunakan mikrokontroler ATMEGA 8535 dengan frekuensi kristal 16MHz. Kompiler yang digunakan adalah Basic Compiler (BASCOM).

Tabel 5. 3 Kode program pengukuran frekuensi

'=====
=
'program pengukuran frekuensi
'mengukur setengah perioda negatif
'frekuensi 50Hz akan menghasilkan jumlah pulsa 20000
'oleh : senja

```

'versi :4.0
'Tanggal:12-7-2011
'=====
'Deklarasi Mikrokontrol yang digunakan
$regfile = "m8535.dat"
'Deklarasi kristal yang digunakan
$crystal = 16000000
'Konfigurasi input/output
Config Portc = Output
Config Pind.3 = Input
Sensor Alias Pind.3
'Untuk pull-up input
Set Portd.3
'Konfigurasi Timer1 dengan prescale 8 artinya Perioda pencacah/timer
'16 MHz/8=2M--> sehingga perioda pencacah T=0.5uS
Config Timer1 = Timer , Prescale = 8
'inisialisasi kondisi awal
Stop Timer1
'pengukuran menggunakan interrupt1 pada saat perubahan dari 1 ke nol
Config Int1 = Falling
'Pada saat ada interrupt akan langsung mengerjakan servis rutin int1
On Int1 Isr_int1
'Deklarasi tipe data
Dim Konstanta As Long
Dim Frekuensi As Single
Dim Data_sensor As Word
Dim Cnt_sensor As Byte
Dim Flag_sensor_start As Bit
Dim Flag_sensor_ok As Bit
Konstanta = 1010000
'aktifkan semua interrupt
Enable Interrupts
'aktifkan interrupt1 (interup dari PIND.3)

```



```

Enable Int1
'Program Utama yang terus menerus dijalankan diawali dengan Do
'dan diakhiri dengan Loop
Do
  If Flag_sensor_ok = 1 Then
    Reset Flag_sensor_ok
    Disable Int1
    'Periode Dikirim ke komputer setiap 20mS x 50 =1 detik
    Print "T" ; Timer1
    Enable Int1
  End If
Loop
'Program interrupt (terjadi pada transisi pulsa dari 1--> 0
Isr_int1:
  'atur timer dari 0
  Timer1 = 0
  'Jalankan Timer
  Start Timer1
  'Timer akan jalan terus sambil menunggu sampai sensor berlogika 1
  Bitwait Sensor , Set
  'Hentikan timer jika telah berlogika 1
  Stop Timer1
  'untuk mengatur pengiriman data ke komputer jika diperlukan
  'untuk melihat hasilnya hanya 1 kali selama 50 kalipengukuran
  Incr Cnt_sensor
  If Cnt_sensor = 50 Then
    Cnt_sensor = 0
    Flag_sensor_ok = 1
  End If
Return

```

Mengatur frekuensi Generator

Ada dua yaitu mengatur masukan dan keluaran. Untuk mengatur masukan adalah dengan flow control air. Dan untuk keluaran adalah Load control. Dari karakteristik generator jika tanpa beban f dan v akan naik dan jika berbeban atau beban lebih f dan v akan turun. Dengan diberikan beban seolah putaran generator itu di rem. (putaran generator menentukan frekuensi dan tegangan dari generator).

Dengan memberikan beban yang sesuai dengan daya generator akan diperoleh f dan v yang tetap.

Daya keluaran generator = Daya Balast + daya Beban

Jika tidak ada daya pada beban maka daya dibuang ke *Ballast*

Jika daya pada beban semua maka balas dilepas.

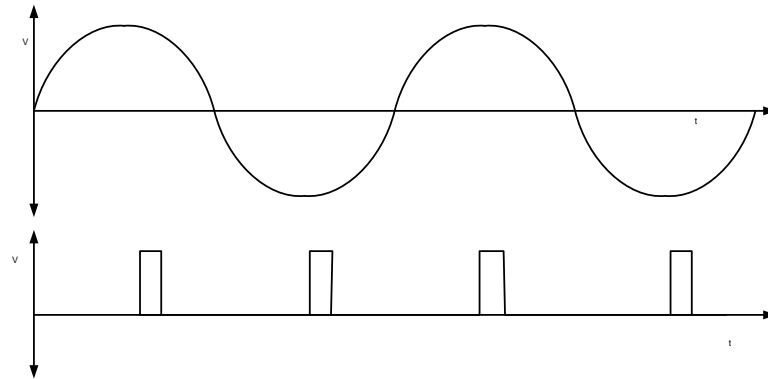
Mengatur Pembuangan Daya pada ballast

Pada mikrohidro parameter yang berubah adalah daya beban. Daya beban akan mempengaruhi frekuensi dan tegangan. Jika beban rendah f naik dan jika beban besar f turun. Perbedaan f ini akan dideteksi dan akan diperoleh *error* dari perbedaan f aktual dengan f *setpoint*. *Error* ini akan diproses untuk mengatur pembuangan daya pada *ballast*.

Pembuangan dilakukan dengan Triac atau SCR sebagai saklar. Scr akan konduksi jika gate diberi trigger. Jika trigger pada 0 derajat maka pembuangan maksimum ke ballas. Jika trigger pada 180 derajat tidak terjadi pembuangan. Pembuangan dapat terjadi dari 0 s/d 180 derajat atau daya maksimum sampai daya minimum. Efektifitas pembuangan pada frekuensi 50Hz atau perioda 20mS ditentukan oleh jumlah step penyulutan pada SCR. Untuk frekuensi kerja 16MHz dapat dihasilkan penyulutan setiap pergeseran 2uS.

Sebagai contoh untuk 10ms dibagi 2uS=5000 step pembuangan daya. Jika digunakan untuk daya 5 Kw akan diperoleh 5000w/5000step = 1watt per step. Jika dibeban turun 1 w maka daya akan dibuang ke ballas 1 W. Pada kenyataannya perlu lebar pulsa trigger 100uS, ada daerah terlarang sebesar 200uS dan untuk menjamin bekerja pada rentang frekuensi yang lebih tinggi, sehingga efektifnya hanya maksimal 3500

step untuk setengah perioda atau setara $180/3500 = 0,05^\circ$ untuk 1 *step*-nya. Untuk menambah keakuratan diperlukan beban *ballast* tambahan agar menghasilkan kombinasi pembuangan daya.



Gambar 5. 15 Grafik on delay pada penyalan SCR

Berikut ini adalah potongan program untuk menyulut SCR :

Tabel 5. 4 Kode Program Penyalan SCR mode sinkronisasi penyulutan phase

```
'Program Trigger SCR untuk ballast load
'=====
0-3300 step penyulutan
'data diambil dari komputer dengan Hyperterminal
'tanggal 12-7-2011
'=====
=
'deklarasi mikrokontroller yang digunakan
$regfile = "m8535.dat"
'frekuensi kristal yang digunakan
$crystal = 16000000
'konfigurasi input dan output
Config Portb = Output
Config Pind.3 = Input
```

```

'fullup aktif
Set Portd.3
'penamaan Pind.3 sebagai sensor
Sensor Alias Pind.3
'aktifasi interupt pada transisi turun dan pendeteksi nol
'untuk sinkronisasi
Config Int1 = Falling
'interupt pada saat ada perubahan turun menjalankan ISR
On Int1_isr_int1
'Tipe data
Dim W As Word , Nilai As Integer
Dim I As Integer
Dim Komputer As Integer
Dim Tunda As Integer
'deklarasi subrutin
Declare Sub Sulut_scr()
'mengaktifkan semua interupt
Enable Interrupts
'mengaktifkan Int1 /atau sensor
Enable Int1
'Program utama Do...Loop
Do
'Menunggu Masukkan Data Dari Komputer
Input "Masukan Nilai Dimer(0-3300)>" , Komputer
Loop
'rutin interup dijalankan setiap perubahan gelombang sinus
'siklus positif menuju nol.
Isr_int1:
'memanggil program penyalan SCR/triac pada perioda negatif
Call Sulut_scr()
Return
'sub program penyulut SCR dengan PWM cara manual
'yaitu memberikan waktu tunda/delay

```

```

'kalau nilai Komputer 0 maka waktu tunda 3500 SCR tidak aktif
'kalau nilai Komputer 3500 maka waktu tunda 0 SCR 100% aktif
Sub Sulut_scr()
Tunda = 3500 - Komputer
'offset rangkaian yang tidak menggunakan zero detektor.pada saat
'tegangan sensor mencapai 0,5V mikrokontrol sudah menganggap "0" nol
Waitus 100
'on delay dengan looping yang diatur oleh variabel tunda
For I = 0 To Tunda
'delay kira-kira 2uS
$asm
Nop
$end Asm
Next I
'mengaktifkan OPTO COUPLER/aktif rendah disesuaikan dengan rangk.
Reset Portb.5
Reset Portb.7
'Lebar pulsa pengaktifan sebesar 100uS
Waitus 100
'menonaktifkan opto coupler
Set Portb.5
Set Portb.7
'mendeteksi terjadinya perioda positif sinusoida
'dan menyulut pada perioda positif
Bitwait Pind.3 , Set
'offset
Waitus 100
For I = 0 To Tunda
'delay dengan variabel nilai tunda
$asm
nop
$end Asm
Next I

```

```

'mengaktifkan optocouple
Reset Portb.5
Reset Portb.7
'lebar pulsa penyulutan sesuai Arus yang dibutuhkan
Waitus 100
'menon aktifkan optocouple
Set Portb.5
Set Portb.7
End Sub

```

Proses dari error menjadi penyulutan daya pada Triac.

Disini akan digunakan Kontrol PIDdiskrit. *Error* dapat diperoleh dengan mencari selisih antara nilai dari sensor dengan nilai *setpoint*. Proporsional (pengambilan keputusan/output berdasarkan kondisi *error* aktual sekarang (*present*) dari hasil evaluasi atau pengukuran sensor). Integrator (pengambilan keputusan/output berdasarkan kondisi integral *error* masa lalu (*past*) sampai sekarang). Derivatif (pengambilan keputusan/output berdasarkan perubahan *error* setiap evaluasi dan dapat memperdiksi kemungkinan *error* yang akan datang, *future*).

Fungsi utama dari masing-masing teknik kontroler adalah sebagai berikut:

Proporsional. Semakin besar *error* semakin besar pembuangan pada *ballast*.

Integrator. Kelemahan dari proporsional adalah tidak pernah mencapai *setpoint* artinya selalu ada *error*, sehingga perlu reset atau *setting* manual atau dilengkapi dengan integrator. Integrator inilah yang dapat menghilangkan *error* permanen.

Derivatif. Menghindari kemungkinan gangguan dari luar dan menghindari *error* dengan perubahan yang relatif cepat. Dapat memberikan redaman pada osilasi dari dampak overshoot dari integrator. Selain itu dapat meningkatkan respon controller.

Berikut adalah kode program untuk mendapatkan nilai penyulut SCR (0-3500) dari *error* yang dihasilkan :Nilai *Pid_Setpoint* =20000, dan nilai *Pid_aktual* =20000 untuk frekuensi 50Hz.

Tabel 5. 5 Kode Program Kontrol PID Diskrit

```

Sub Proses_pid(pid_Setpoint , Pid_aktual)
'mencari error
    Pid_error = Pid_Setpoint - Pid_aktual
'konstanta proporsional/perkalian
    Pid_out = Pid_error * Pid_kp
'Mencari perbedaan/selisih terhadap waktu nilai sebelum dan 'nilai sekarang
'diferensiator
    Ptemp = Pid_error - Pid_error_old
'nilai sekarang dijadikan nilai lama
    Pid_error_old = Pid_error
'konstanta derivatif
    Ptemp = Ptemp * Pid_kd
    Pid_out = Pid_out + Ptemp
'konstanta integrator
    Ptemp = Integral_error * Pid_ki
'integrator
    Pid_out = Pid_out + Ptemp
    Pid_out = Pid_out * Pid_skala
'batas max PID out
    If Pid_out > 3500 Then
        Pid_out = 3500
    ElseIf Pid_out < 0 Then
        Pid_out = 0
    Else
        Pid_error = Pid_error + Integral_error
'Batasan PID error untuk f=52Hz dan f=48Hz
    If Pid_error > 770 Then
        Pid_error = 770
    ElseIf Pid_error < -833 Then
        Pid_error = -833
    End If
    Integral_error = Pid_error

```

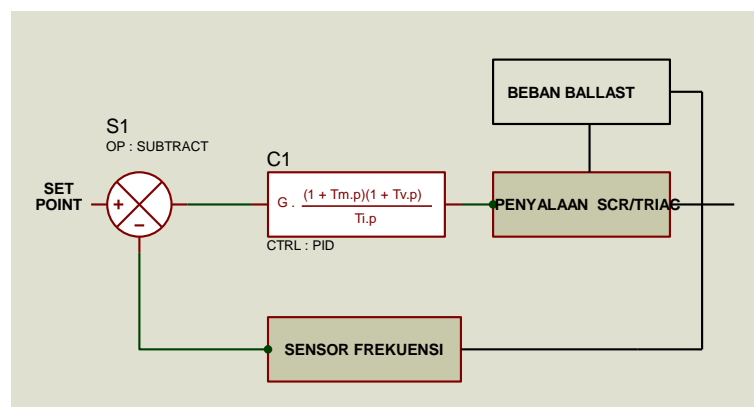
```

End If

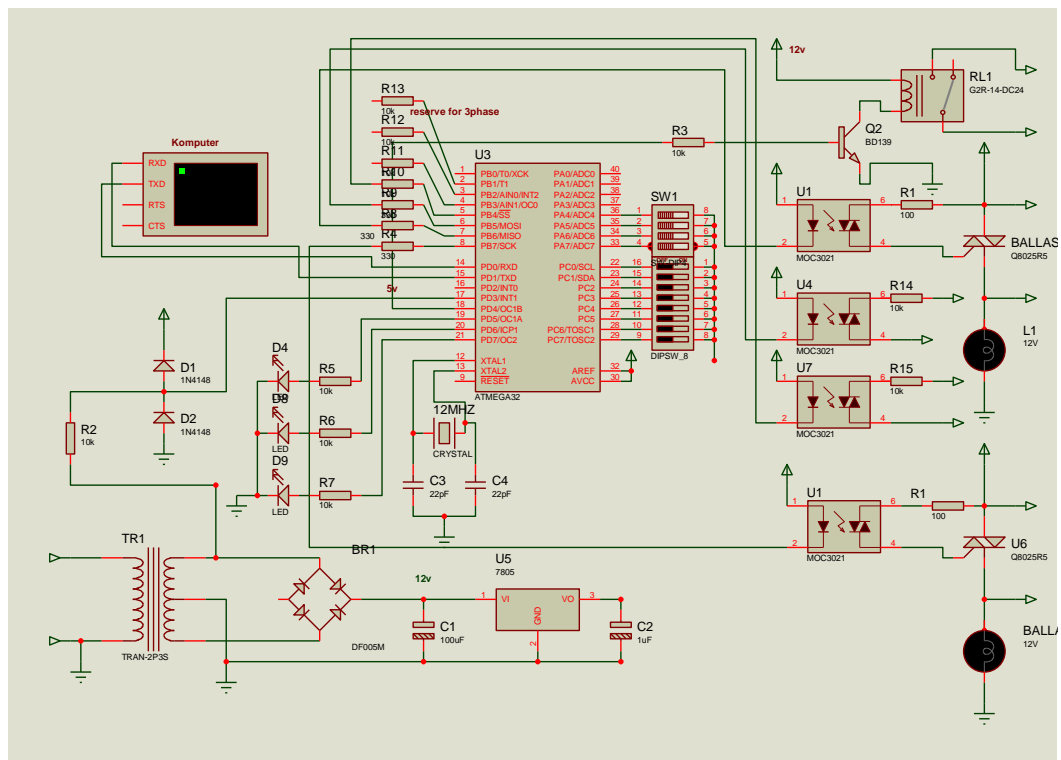
End Sub
'-----
-----

```

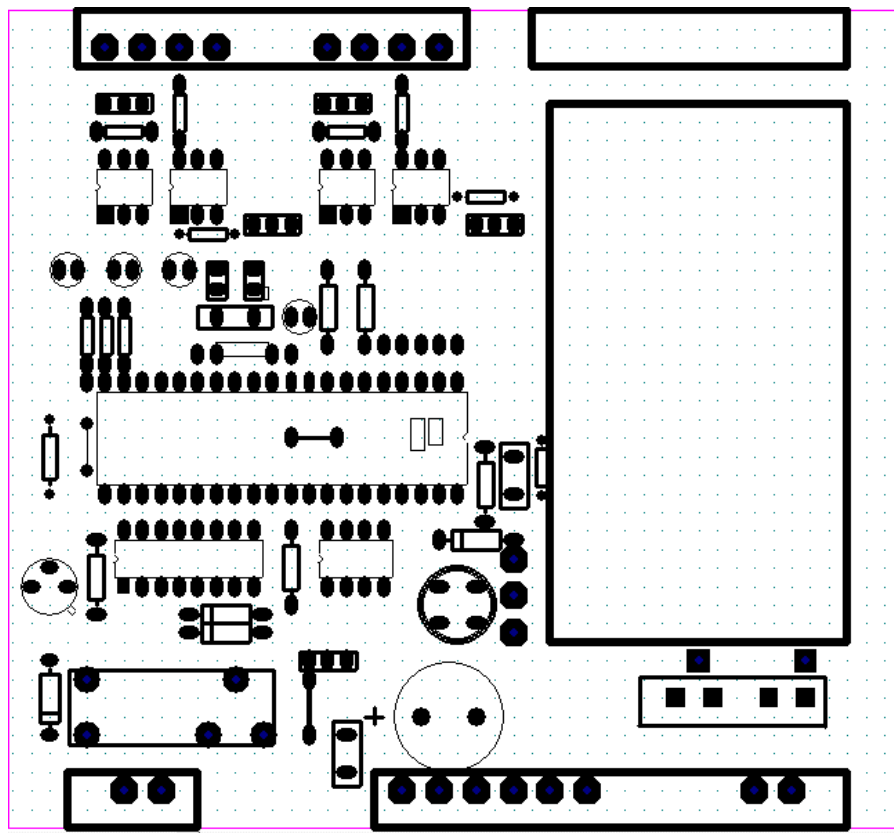
Program DLC Selengkapnya ada pada lampiran I



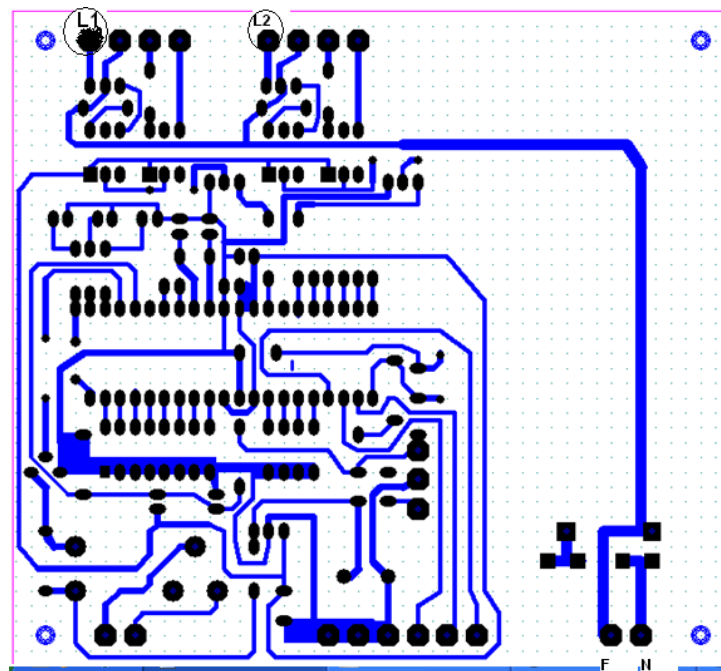
Gambar 5. 16 Diagram Blok Rangkaian DLC



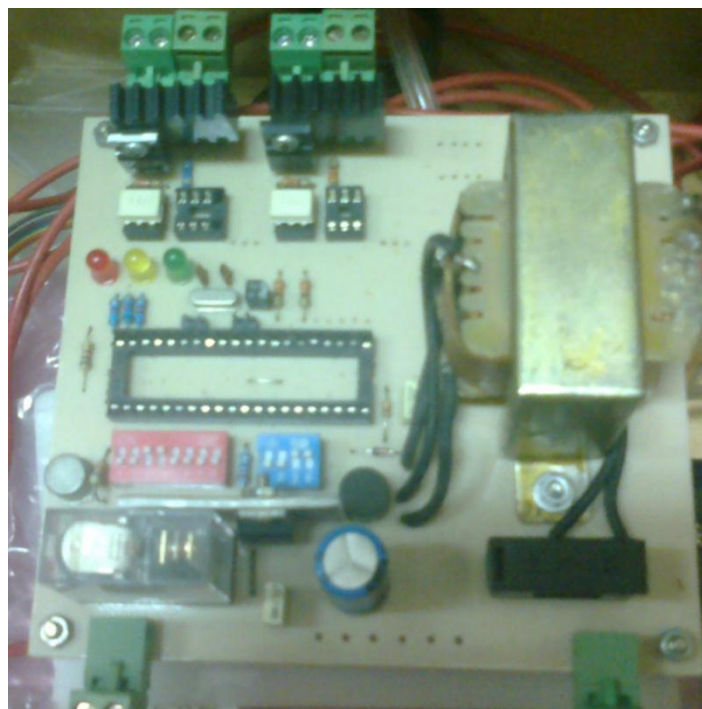
Gambar 5. 17 Skematik Rangkaian DLC



Gambar 5. 18 Tata Letak Komponen



Gambar 5. 19 Layout PCB Rangkaian DLC



Gambar 5. 20 Gambar DLC

Tabel 5. 6Daftar Komponen DLC

No	Komponen	Spek	Jumlah	Keterangan
1	IC1	ATMEGA8535	1	
2	IC2	7805	1	
3	IC3	LM339	1	
4	OPTOCOUPLER	MOC3051	4	
5	Trafo	CT,1A,9V	1	
6	Crystal Osilator	16MHz	1	
7	capasitor	20pF	2	
8		2200uF/25V	1	
9		1nF/Tantalum	3	
10	Resistor	470R	5	
11		1k	3	
12		10k	2	
13	Relay	12V/SPST	1	
14	Switch	DIPSWICH8Pin	1	
15		DIPSWICH16Pin	1	
16	Dioda	Bridge 2A Bulat	1	

17		1n4148	3	
18		Zener5V	2	
19	Trafo Isolasi	1:1	4	
20	Fuse Holder+Fuse	Plastik 1A	1	
21	LED	Merah	1	
22		Kuning	1	
23		Hijau	1	
24	Heder	2X1 plastik	2	
25	Soket IC	6pin	4	
26		40pin	1	
27		8pin	1	
28	Terminal	2 line+pasangan	2	
29	PCB Single Layer	15X15cm Epoksi	225	
30		4line+pasangan	2	
31	SCR/TRIAQ	BT139/15A	2	
32	Pendingin	Kecil	3	

ALAT UJI COBA				
33	Kabel	NYAF	10	
34	Piting	Lampu Pijar	2	
35	Terminal Lampu	10line	1	
36	Lampu Pijar/beban ballast	100W	10	
Untuk Daya Besar ganti SCR dan Pendingin				
	SCR/TRIAQ		2	
	Pendingin	Besar	1	
	Panel		1	
	Kontaktor		1	
	MCB		1	
	Voltmeter		2	
	Ampermeter		2	
	Frekuensi meter		1	
	Skun		30	
	Sepatu Kabel		30	

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi desain kontrol beban secara elektronika dan digital pada PLTMh? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan LK-5.0.Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1

1. Rancanglah sebuah rangkaian kontrol ELC dengan metoda PID serial dengan regulasi PWM.
2. Rancanglah sebuah rangkaian kontrol DLC dengan metoda Diskrit PID dengan 4 buah beban *ballast*.

E. Rangkuman

Beberapa desain kontrol beban elektronika yang sudah ada diantaranya adalah :

1. Regulasi Beban Biner
2. Regulasi sudut phasa
3. Regulasi Lebar pulsa (PWM)
4. Regulasi Penyearah jembatan
5. Regulasi penyearah dengan chooper.

Kontrol yang disebutkan di atas memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Anda dapat mengkombinasikan jenis-jenis regulasi di atas untuk mendapatkan kontrol beban yang lebih sempurna.

Kualitas listrik bergantung dari 3 parameter keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit. Ketiga parameter tersebut diantaranya adalah Tegangan dan frekuensi yang tetap yaitu 230v/50Hz atau 60Hz, serta bentuk gelombang sinusoidal. Untuk mempertahankan ketiga parameter tersebut, dapat dibuat suatu sistem loop tertutup dengan umpan balik dari sensor tegangan maupun sensor frekuensi. Frekuensi dijaga pada 50Hz untuk generator 50Hz dan pada 60Hz untuk generator 60Hz. Pada saat frekuensi naik artinya beban yang terpasang lebih kecil dari pada daya pada generator, untuk itu perlu membuang sebagian daya ke *ballast load*.

Daya Generator = Daya pada beban + daya pada *ballast load*.

Pembuangan dilakukan dengan Triac atau SCR sebagai saklar. Scr akan konduksi jika gate diberi trigger. Jika trigger pada 0 derajat maka pembuangan maksimum ke ballas. Jika trigger pada 180 derajat tidak terjadi pembuangan. Pembuangan dapat terjadi dari 0 s/d 180 derajat atau daya maksimum sampai daya minimum.

Kontrol PID Diskrit *Error* dapat diperoleh dengan mencari selisih antara nilai dari sensor dengan nilai *Setpoint*. Proses kontrol menggunakan algoritma PID (Proporsional, Integral, dan diferensial). Proporsional (pengambilan keputusan berdasarkan kondisi *error* aktual sekarang (*present*) dari hasil evaluasi atau pengukuran sensor). Integrator (pengambilan keputusan berdasarkan kondisi integral *error* masa lalu (*past*) sampai sekarang). Derivatif (pengambilan keputusan

berdasarkan perubahan *error* setiap evaluasi dan dapat memperdiksi kemungkinan *error* yang akan datang, *future*)

Beberapa cara yang dapat digunakan untuk kontrol beban adalah secara Elektronik atau ELC maupun secara digital (DLC). Untuk kontrol DLC dapat menggunakan mikrokontrol maupun PLC.

F. Test Formatif

1. Sebutkan kekurangan dan kelebihan dari kontrol beban bobot biner?
2. Sebutkan kekurangan dan kelebihan dari kontrol beban sudut phasa? ni
3. Sebutkan kekurangan dan kelebihan dari kontrol beban Modulasi lebar pulsa?
4. Jelaskan secara singkat perancangan rangkaian ELC dengan penggerak IGBT?
5. Jelaskan secara singkat perancangan rangkaian ELC dengan penggerak thyristor.
6. Bagaimana cara mengukur frekuensi menggunakan mikrokontroler?
7. Bagaimana cara menyulut SCR pada sudut phasa tertentu menggunakan mikrokontroler?

Lembar Kerja Peserta Diklat

LK-5.0

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Desain Rangkaian Kontrol Pada PLTMh? Sebutkan!

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

LK-5.1

1. Mengukur Frekuensi dengan Mikrokontrol

Peralatan : Modul DLC(seperti gambar desain DLC)/ Rangkaian DLC

: Modul RS232

: Komputer


: AVR Dopper/USBASP

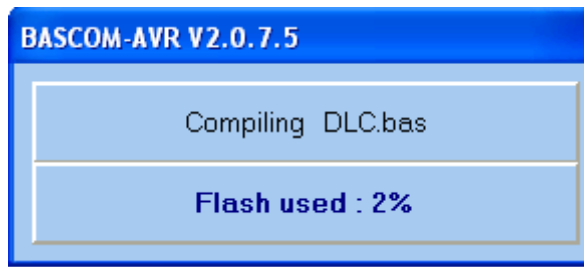
Software : Hyperterminal/ tereterm

: BASCOM

: Progisp/software downloader untuk AVR

Langkah Kerja :

1. Buatlah rangkaian Hardware DLC sederhana
2. Buatlah Program dengan basic compiler/BASCOM dapat didownload di <http://www.mcselec.com>) seperti kode program pada tabel 4. 7 pengukuran frekuensisimpan di D dengan nama DLC.bas
3. Lakukan compile dengan menekan tombol gambar IC  atau F7
4. Sampai muncul kotak dialog yang menyatakan flash used :...%, jika belum periksa kode program mungkin ada kesalahan tulis.



Gambar 5. 21 Kompile telah berhasil

6. Setelah selesai akan terbentuk file baru di D dengan nama DLC.hex, file ini yang akan diisikan ke Mikrokontroler ATmega 8535.
7. Pasangkan downloader AVR sebagai contoh USBasp / AVR doper melalui USB host pada komputer
Dan outputnya hubungkan ke kaki mosi, miso, sck, reset, dan tegangan power.



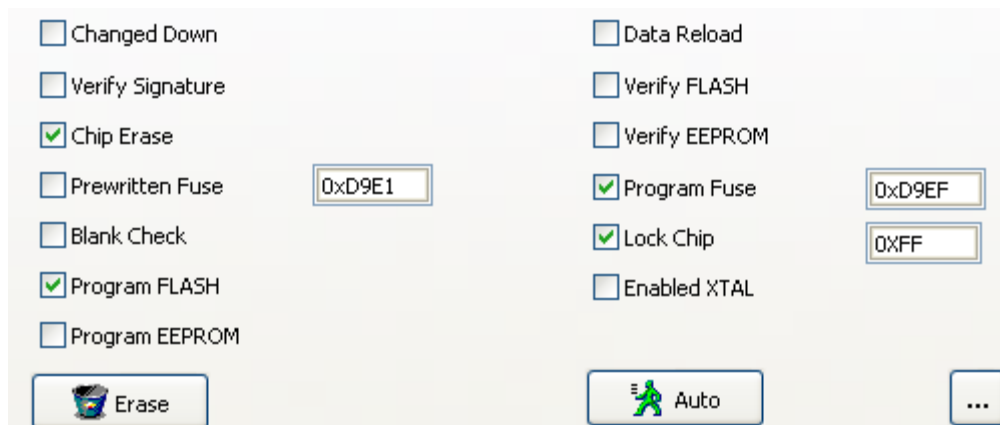
Gambar 5. 22 Rangkaian Downloader USBASP

8. Buka program Downloader (progisp) dapat didownload pada(en.softonic.com)
9. Tekan tombol load flash dan cara DLC.hex yang telah anda buat kemudian Open.
10. Atur program fuse dengan menekan teks box yang ada pada sebelah kanan fuse



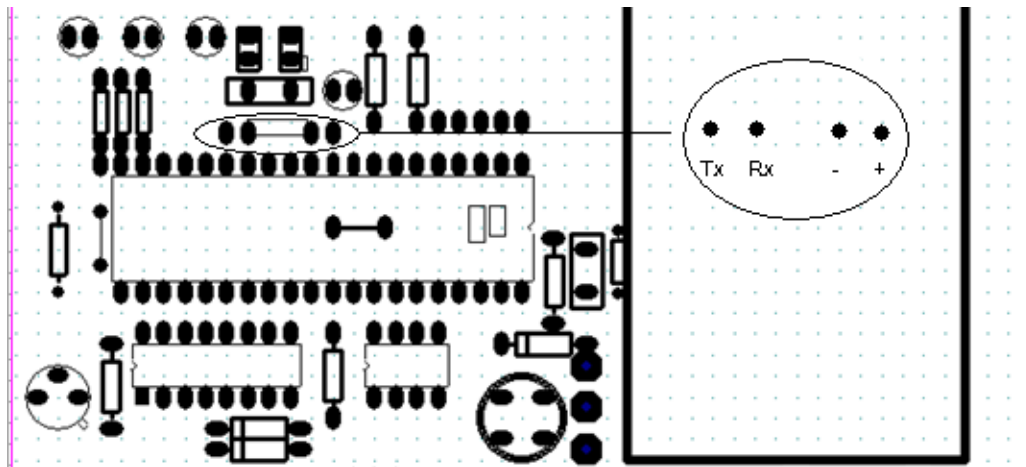
Gambar 5. 23 Pengaturan Fuse pada frekuensi 16MHz

11. Pilih CKSEL[0:3]=1 yang artinya Anda menggunakan *eksternal* clock yaitu kristal 16MHz yang ada pada hardware. Tekan tanda silang merah untuk menutup.
12. Centang sesuai yang ada pada gambar di bawah dan kemudian pilih **Auto**



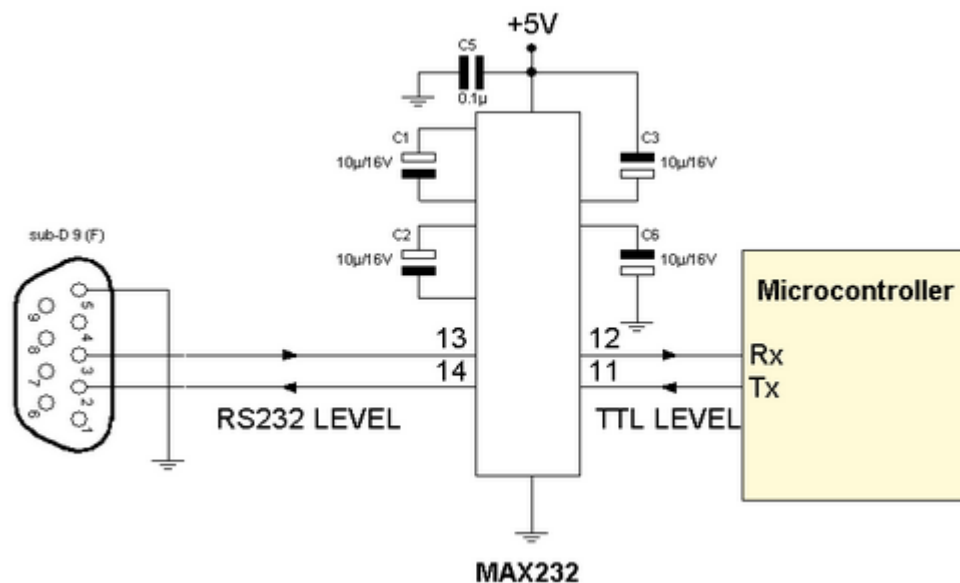
Gambar 5. 24 Pengaturan Pada Program Downloader

13. Selesai dan jika berhasil akan ada tulisan di bawah *write program flash successfully*.



Gambar 5. 25 Posisi Terminal sambungan RS232 pada board mikrokontroler menggunakan header dan disediakan pula tegangan 5V

14. Sambungkan Modul tambahan TX, RX dan tegangan 0,5 V ke rangkaian Konverter TTL ke RS232 pada modul yang terpisah



Gambar 5. 26 Konverter TTL ke RS232 pada serial komputer DB9 Female

15. Sambungkan pula DB9 Female ke port serial pada komputer.
16. Jalankan program Hyper Terminal (ada pada accessories > communication > Hyper terminal dengan pengaturan Data Bit =8, speed /baud rate 9600, stop bit 1, flow control none tekan tombol koneksi.

17. Catat apa yang ditampilkan
18. Untuk mendapatkan nilai frekuensi maka gunakan rumus $f = (100000/T)$ Hz
19. Buat kesimpulan mengapa demikian!

2. Mengatur Penyalan SCR/TRIAC dengan Mikrokontrol

Peralatan : Modul DLC(seperti gambar desain DLC)/ Rangkaian DLC

: Modul RS232

: Komputer

: AVR Dopper/USBASP


: Lampu 10x100W/ sebagai pengganti *ballast load*

Software : Hyperterminal/ tereterm

: BASCOM

: Progisp/software downloader untuk AVR

Langkah Kerja :

1. Buatlah rangkaian Hardware DLC sederhana dan sambungkan 2 buah lampu pada L1 dan L2 dan jalur N. (lihat gambar layout komponen).
2. Buatlah program dengan basic compiler/BASCOM seperti code program pada tabel 4.9. :
5. simpan di D dengan nama SulutSCR.bas
6. Lakukan compile dengan menekan tombol gambar IC 
7. Isikan program SulutSCR.hex seperti langkah di atas :
8. Sambungkan Konverter TTL ke RS232
9. Sambungkan DB9 Ke komputer
10. Jalankan Hyperterminal dengan setting seperti pada pengukuran frekuensi , tekan tombol koneksi

11. Pada layar hyper Terminal akan muncul tulisan

Masukkan Nilai Dimer (0-3300) :

10. Ketikan angka berikut kemudian enter :

50↵,100↵,500↵,1000↵,1500↵,2000↵,2500↵,3000↵,3300↵

11. Apa yang terjadi pada lampu setelah diberikan masing-masing nilai tersebut.

12. Mana dari nilai yang dimasukan yang lebih terang dan lebih gelap, mengapa demikian ?

13. Buatlah laporan hasil praktikum Anda!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 : INSTALASI RANGKAIAN KONTROL PLTMH, DLC, IGC DAN DFC

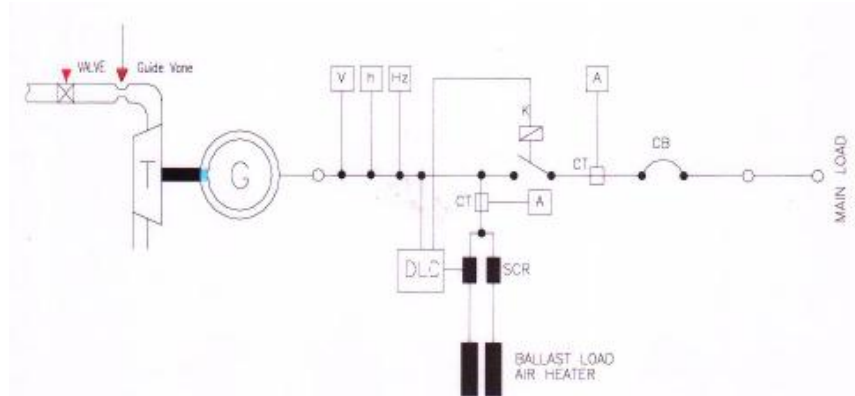
A. Tujuan

- Melalui diskusi peserta diklat dapat Menjelaskan prinsip kerja DLC
- Melalui diskusi peserta diklat dapat Menjelaskan prinsip kerja DFC
- Melalui diskusi peserta diklat dapat Membedakan DLC dengan IGC
- Melalui mencoba peserta diklat dapat Memasang panel kontrol DLC pada PLTMh
- Melalui mencoba peserta diklat dapat Memasang panel kontrol DFC pada PLTMh
- Melalui mencoba peserta diklat dapat Memasang Modul Synchronizer
- Melalui mencoba peserta diklat dapat Memasang kontrol PLTMh secara berdiri sendiri (stand alone)
- Melalui mencoba peserta diklat dapat Memasang kontrol PLTMh terhubung ke jaringan PLN.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menjelaskan prinsip kerja DLC
2. Menjelaskan prinsip kerja DFC
3. Membedakan DLC dengan IGC
4. Memasang panel kontrol DLC pada PLTMh
5. Memasang panel kontrol DFC pada PLTMh
6. Memasang Modul Synchronizer
7. Memasang kontrol PLTMh secara berdiri sendiri (stand alone)
8. Memasang kontrol PLTMh terhubung ke jaringan PLN.

C. Uraian Materi



Gambar 6. 1 Diagram Pembangkit PLTMh

Apa yang kalian ketahui dengan digital Load control (DLC)? Bagaimana prinsip kerjanya? Mengapa rangkaian ini dapat meregulasi tegangan dan frekuensi kerja dari generator? Diskusikan tentang jenis-jenis kontrol PLTMh dan bagaimana cara memasang DLC pada panel, menghubungkan generator dengan beban utama dan beban *ballast*. Bacalah buku bahan ajar ini atau informasi dari sumber lain untuk mendapatkan informasi yang lebih dalam, baik dari internet atau buku sumber lainnya, presentasikan setelah diskusi selesai.

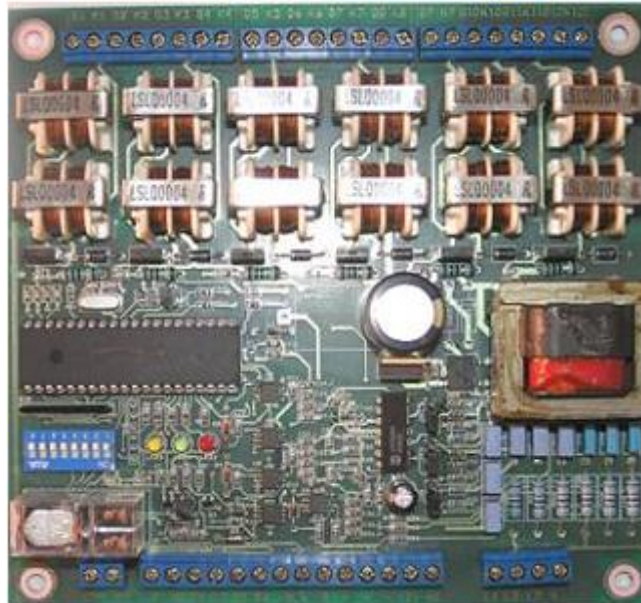
Digital Load Control (DLC)

DLC berfungsi sebagai pengatur speed turbin (governor) untuk sistem pembangkit dengan generator sinkron. Sedangkan IGC berfungsi sebagai pengatur tegangan (AVR) untuk sistem pembangkit dengan generator asinkron (IMAG), dengan cara menyeimbangkan antara daya turbin (*input power*) dengan daya generator (*output power*) yaitu dengan cara mengatur besar kecilnya daya yang dibuang ke *ballast load*. ELC/IGC ini merupakan generasi baru dimana sistem kontrolnya berbasis mikroprosesor/mikrokontroler, dimana dapat mengontrol pembangkit dengan ketelitian yang tinggi.

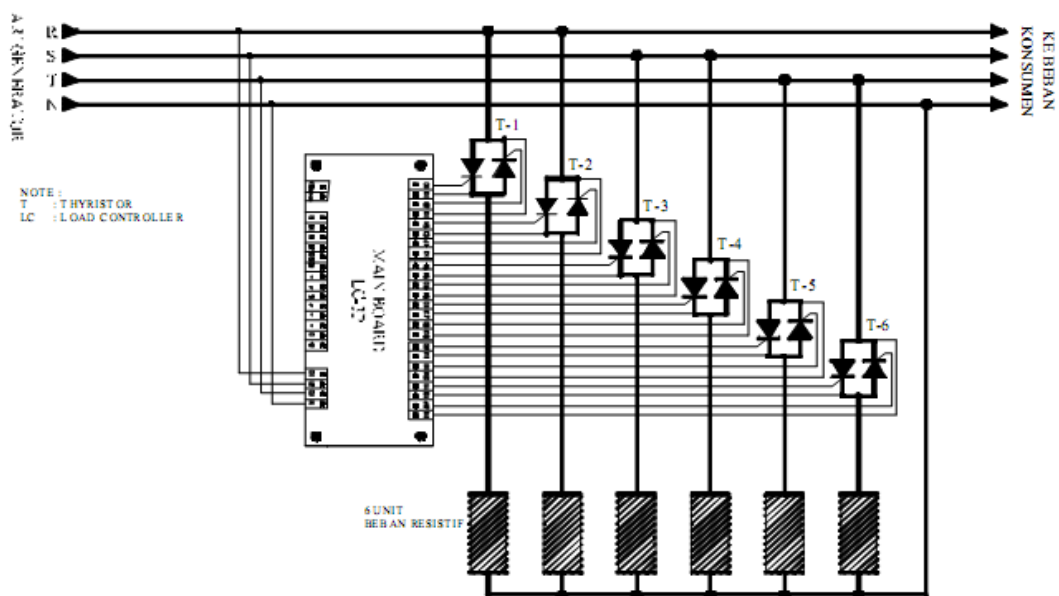
Dengan sistem ini frequency generator dapat dikontrol dengan mudah dan akurat. Meskipun berbasis microprocessor, komponen-komponen DLC tahan terhadap tegangan spike/petir dan *full static design*. Nominal aplikasi frekuensi adalah 50 Hz atau 60 Hz, sesuai dengan *setting* pada *switch*. DLC disimpan pada box sesuai dengan

kapasitasnya, yang dilengkapi dengan Circuit Breaker, kontaktor/motorized circuit breaker, dan metering. Untuk kapasitas di bawah 20kW menggunakan box ukuran lebar 50 cm, tinggi 70 cm dan tebal 20 cm. Untuk kapasitas dari 30 sampai 60 kW menggunakan box ukuran lebar 60 cm, tinggi 80 cm dan tebal 25cm, kapasitas 70-120 kW menggunakan box ukuran lebar 70 cm, tinggi 120 cm dan tebal 50cm. Di atas 150kW dengan box lebar 80 cm, tinggi 150cm, tebal 60cm.

DLC dapat diaplikasikan untuk PLTMH yang beroperasi Parallel/Interkoneksi dengan *grid*. DLC sebagai pengatur speed turbin bekerja simple dibanding dengan *flow control*. DLC tidak memerlukan pengaturan *flow* dan *fly wheel* untuk mengatur *speed* turbinnya. Dengan menambahkan satu unit synchronizer berikut proteksinya maka pembangkit tersebut dapat bekerja secara Isolated maupun Parallel/Interkoneksi.



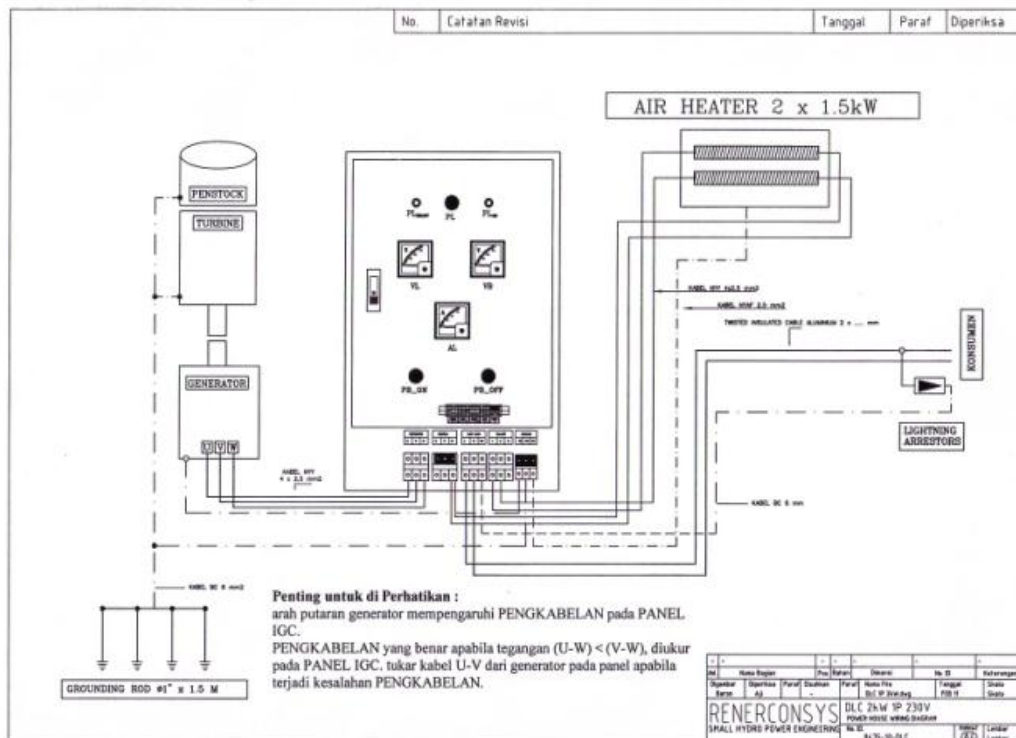
Gambar 6. 2 Mainboard *Digital Load Controller* (ELC/IGC)



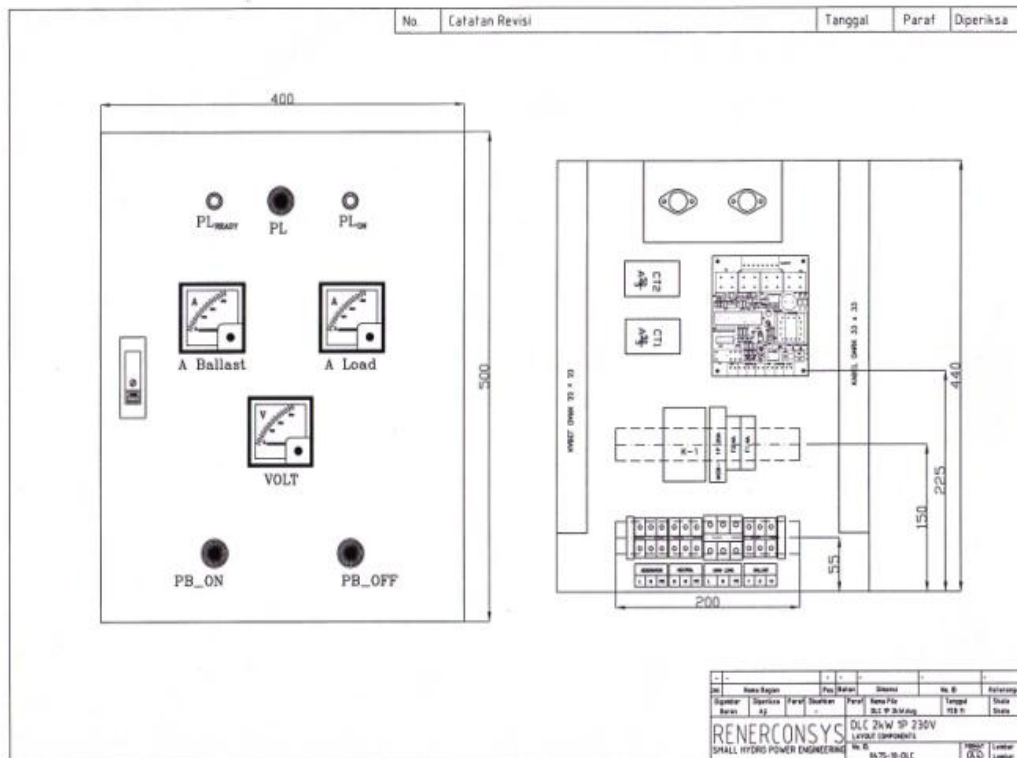
Gambar 6. 3 Diagram dasar pengkabelan sistem Digital Load Control dengan 2 step
ballast load

Prinsip Kerja DLC

Pada prinsipnya pengontrolan dengan DLC bertujuan agar daya yang dibangkitkan oleh Generator sinkron selalu sama besar dengan daya yang diserap sehingga dapat dibangkitkan tegangan dan frekuensi yang stabil dengan cara membuang kelebihan



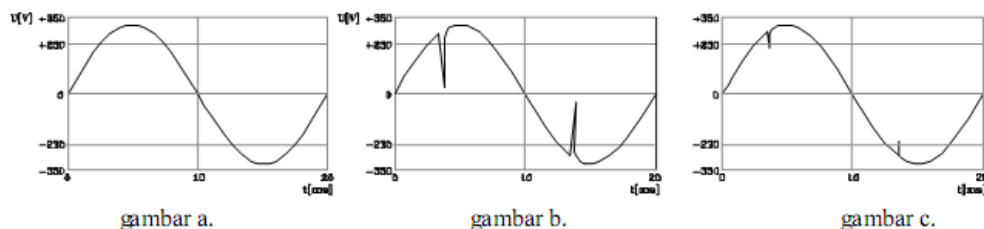
Gambar 6. 5 Diagram pengkabelan panel kontrol dengan *ballast load* dan generator



Gambar 6. 6 Layout penempatan komponen panel

Low Distortion

Cacat yang besar pada *line* akan mengganggu bahkan merusak peralatan electronics. Begitu juga bagi peralatan mekanikal maupun generator akan menimbulkan getaran yang mengganggu peralatan tersebut. DLC mempunyai kelebihan sedikit *cacat* dibanding dengan ELC yang lain. Berbeda dengan ELC yang lain yang hanya menggunakan satu *step ballast load*. DLC didesain dengan dua *step ballast load*. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi *cacat* (harmonic) pada tegangan *line/generator*, dimana ELC dengan satu *step ballast load* mempunyai *cacat* tegangan pada *line* sangat besar, yang mana akan merusak beberapa peralatan electronics yang tidak tahan terhadap *cacat*/harmonic yang tinggi. Dengan sistem dua *step ballast load* *cacat*/harmonic tersebut akan berkurang besar. Secara jelasnya perbedaan tegangan *line* antara ELC yang lain (satu *step ballast*) dan DLC (dua *step ballast load*) dapat dilihat pada gambar sinusoidal di bawah.



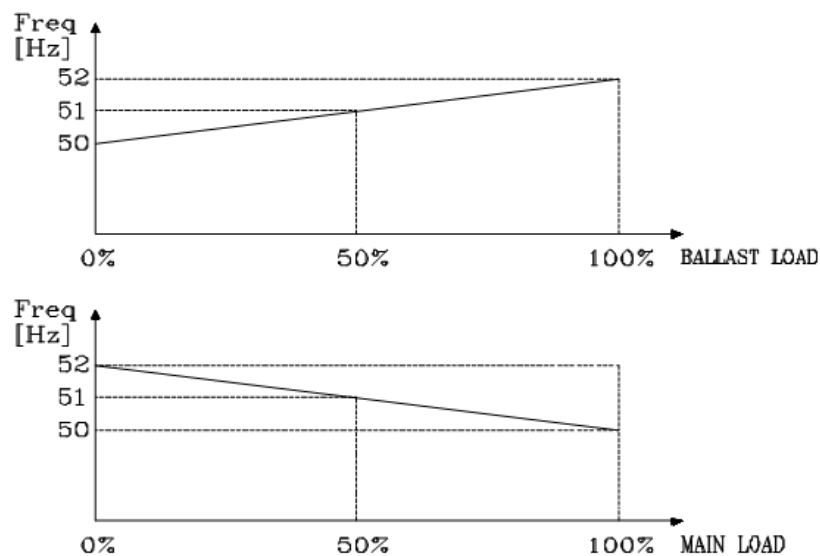
Gambar 6. 7 Bentuk Gelombang Tegangan *Line*

Keterangan gambar :

- Tegangan *line* tanpa *cacat*/harmonic, apabila menggunakan flow control/tanpa *ballast load*.
- Tegangan *line* dengan ELC yang lain (satu *step ballast load*). (ex. GP-electronics, UK). *Cacatline*/tegangan sangat besar.
- Tegangan *line* dengan DLC (dua *step ballast load*). *Cacat* pada *line*/tegangan kecil sekali.

Droop

DLC dilengkapi dengan *droop*. Dengan adanya droop DLC dapat beroperasi parallel dengan DLC yang lain. Dengan *droop* juga daya yang masuk ke *ballast load* dapat dimonitor dari jarak jauh, hanya dengan menambahkan *remote* persentasi *ballast load*, sehingga daya pembangkit dapat digunakan secara optimal. *Droop* dapat diaktifkan atau tidak dari *setting switch*.

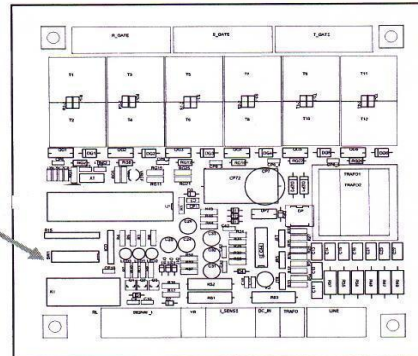
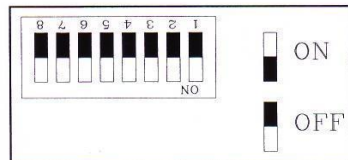


Gambar 6. 8 Grafik hubungan antara beban utama, beban *ballast* dengan frekuensi

Saklar Pengaturan

RENERCONSYS
Small Hydro Power Engineering

6. SETUP SWITCH



SW-8-7 : I - parameter

SW-8	SW-7	I
OFF	OFF	1
OFF	ON	2 : default
ON	OFF	3
ON	ON	4

Note : kurangi parameter I apabila terjadi hunting setelah generator mendapat beban tiba-tiba.

SW-6-5 : P - parameter

SW-6	SW-5	P
OFF	OFF	1
OFF	ON	2 : default
ON	OFF	3
ON	ON	4

Note : pindahkan posisi P ke yang lebih kecil apabila frekuensi generator tidak stabil.

SW-4 : 'OFF' Setting nominal frequency DLC 50Hz (default).

'ON' Setting nominal frequency DLC 60Hz (optional).

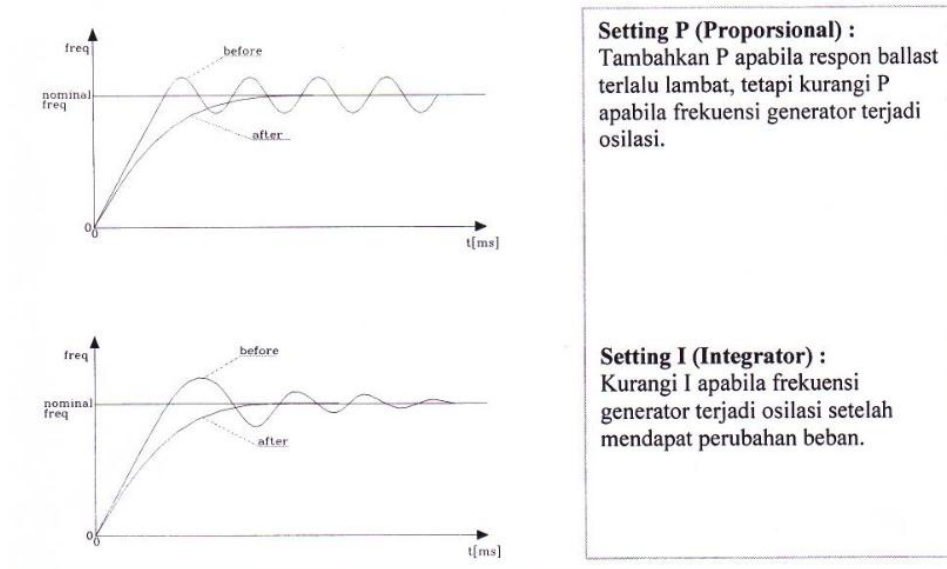
SW-3 : 'OFF' Disbale DROOP, untuk isolated operation.

'ON' Enable DROOP, untuk paralell/isolated operation (droop=2Hz).

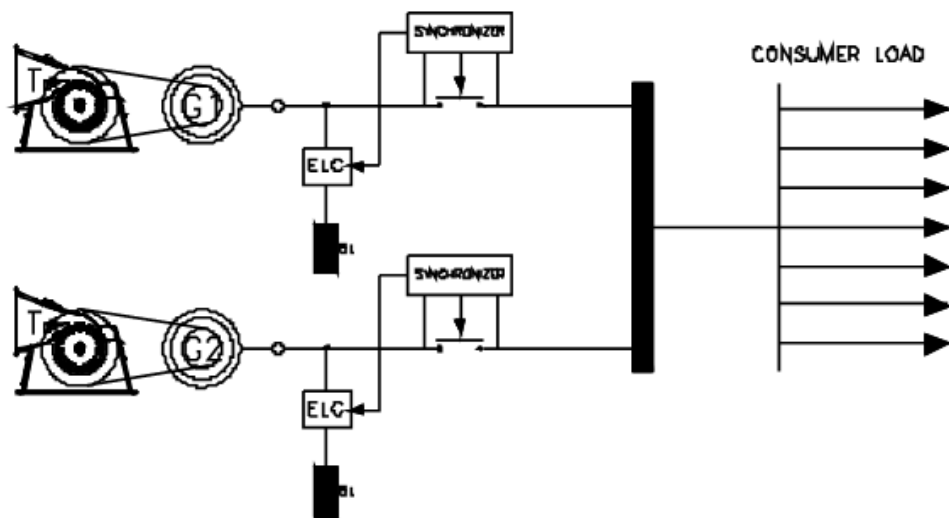
SW-2 : 'OFF' Enable ballast load, (default setup).

'ON' Disable ballast load (Setting freq dari nominal freq +2Hz) untuk auto synchronizer

Pengaturan Parameter P- I (SW5,6,7,8)



Gambar 6. 9 Pengaturan Parameter PI



Gambar 6. 10 Droop Aplication For Parallel Operation Renerconsys

Akurasi Pengontrolan Frekuensi

Akurasi DLC untuk jangka waktu lama mencapai 0.01 Hz. Untuk waktu pendek perubahan frekuensi ketika terhadap perubahan beban 100% antara 1 sampai 5 Hz tergantung dari setting yang diinginkan (setup switch). Waktu pengembalian frekuensi ke posisi semula maksimal 0.45 detik. Frekuensi akan dipertahankan tetap untuk daya masuk sampai maksimum. Apabila droop diaktifkan frekuensi akan bertambah apabila beban ke *ballast* bertambah.

Metering

Volt meter, frequency meter, hour meter, ampere meter untuk masing-masing phase dan lamp indicator.

Protection

Over/Under frequency, Over/Under Voltage Protection, Over Load Protection, Main Load Short Circuit dan *Ballast load* Short Circuit.

Spesifikasi Teknik DLC

Berikut ini adalah spesifikasi teknis dari salah satu kontrol DLC buatan Renerconys:

1. *Phase* : 3 Phase 4 wire / 1 Phase 2 wire
2. *Voltage* : 230/400 Volt / 277/480V
3. *Nominal Frequency* : 50 Hertz / 60 Hertz
4. *Frequency deviation* : 1 s/d 5 Hertz
5. *Maks time constant* : 0.45 second
6. *BallastNumber* : 2 step (6 unit)
7. *Droop* : 5 %
8. *Capacity* : 3 – 500 kW
9. *Output Relay* : 5A 240V (over/under freq & over/under voltage)

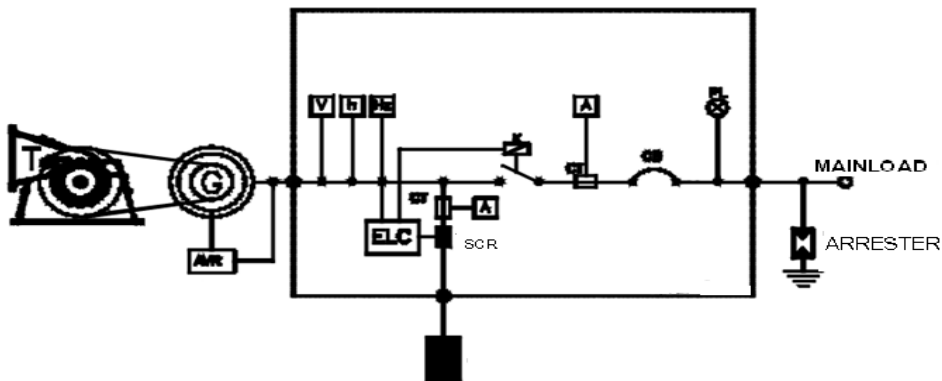
Input Tambahan

Ada beberapa input tambahan yang dapat digabungkan atau dipakai pada rangkaian kontrol DLC ini, adalah sebagai berikut :

1. Sinyal input analog [0..10Vdc] – untuk *setting frequency* pada waktu proses sinkronisasi dengan grid. $\pm 1\text{Hz}$ dari nominal frequency.
2. Digital input, *enable external setting frequency* – seting frekuensi dari analog input untuk *auto-synchronizer*.
3. Digital input, geser referensi frequency 2Hz – mematikan *ballast load* apabila *Synchro switch close* untuk *auto-synchronizer*.
4. Digital input, *enable DROOP*.

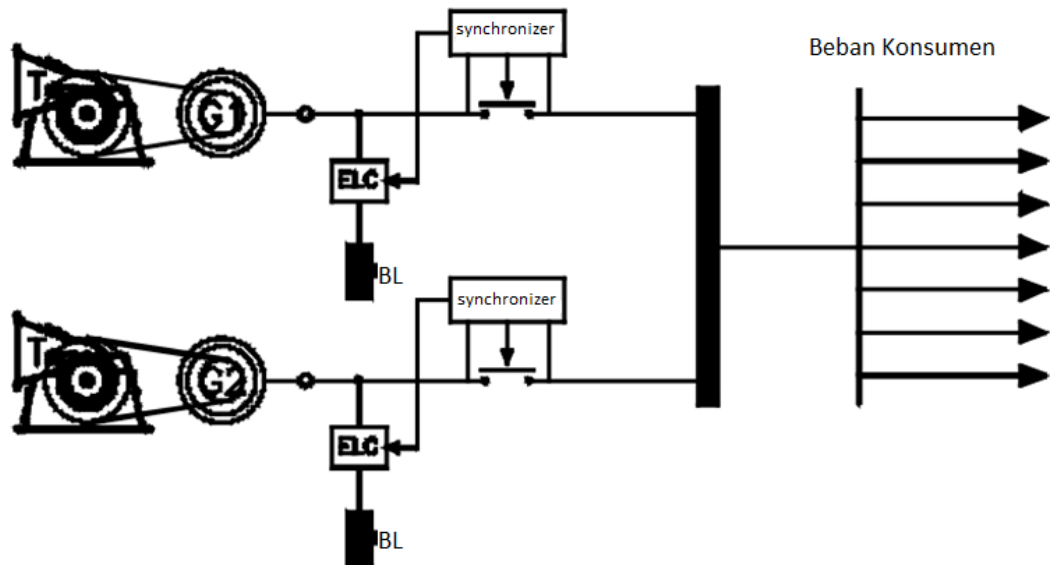
Typical Application

1. Stand Alone Operation



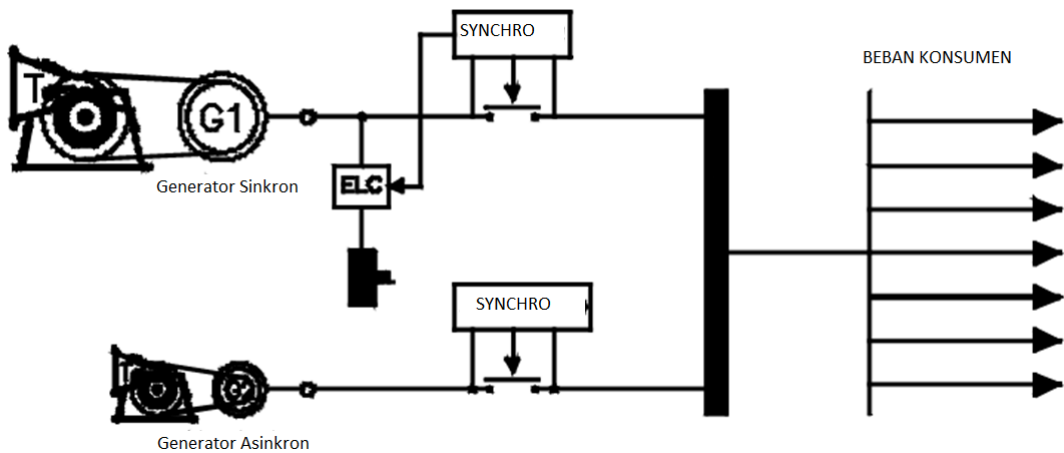
Gambar 6. 11 Diagram Aplikasi *Stand Alone*

2. Parallel 2 Unit Generator



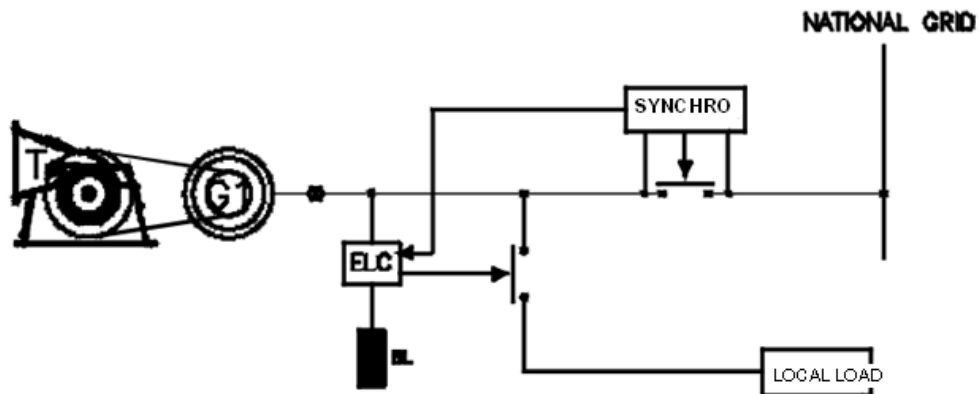
Gambar 6. 12 Rangkaian Generator Paralel

3. Parallel Synchronous Generator & Asynchronous Generator (IMAG)



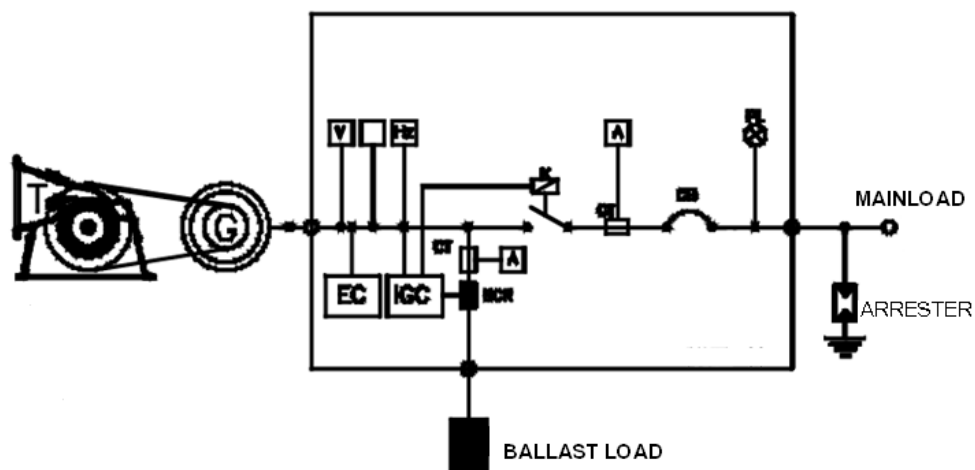
Gambar 6. 13 Parallel Synchronous Generator & Asynchronous Generator (IMAG)

4. Interconnection To National Grid With Stand Alone Facility



Gambar 6. 14 Hubungan On-Grid dengan PLN

5. Application For Induction Motor As Generator (IMAG)



Gambar 6. 15 Aplikasi IMAG

Digital Flow Controller (DFC)

Deskripsi

Digital Flow Controller (DFC) adalah generasi baru dari kontroler Mikro Hidro . DFC digunakan untuk pengaturan, perlindungan dan pemantauan *PowerPlant*. DFC adalah sistem otomatis tingkat tinggi dan juga memberikan sistem operasi yang aman . Dilengkapi dengan sinkronisasi otomatis, dan perlindungan standar yang baik, dan DFC dapat terhubung ke web langsung melalui *data logger*.

Berbeda dengan sistem konvensional yang diterapkan dari beberapa komponen seperti perlindungan relay , sinkronisasi , kontrol, signal converter , penyimpanan data dan memantau , kinerja dari generasi DFC dirancang lebih kompak , dan juga komponen dapat diganti jika ada *faillure* atau kerusakan.

DFC adalah kontroler dan perlindungan dengan sistem otomatisasi digital. Master kontrol didasarkan pada kinerja standar PLC dan dikombinasikan dengan *Filter Module* (diproduksi oleh *Renerconsys*) sehingga dapat digunakan untuk *PowerPlant* kontroler kecil yang bekerja secara paralel atau *On-grid* . Dan DFC dapat digunakan untuk *Powerplant* yang baru ada dengan kontrol aliran atau koneksi sistem paralel.

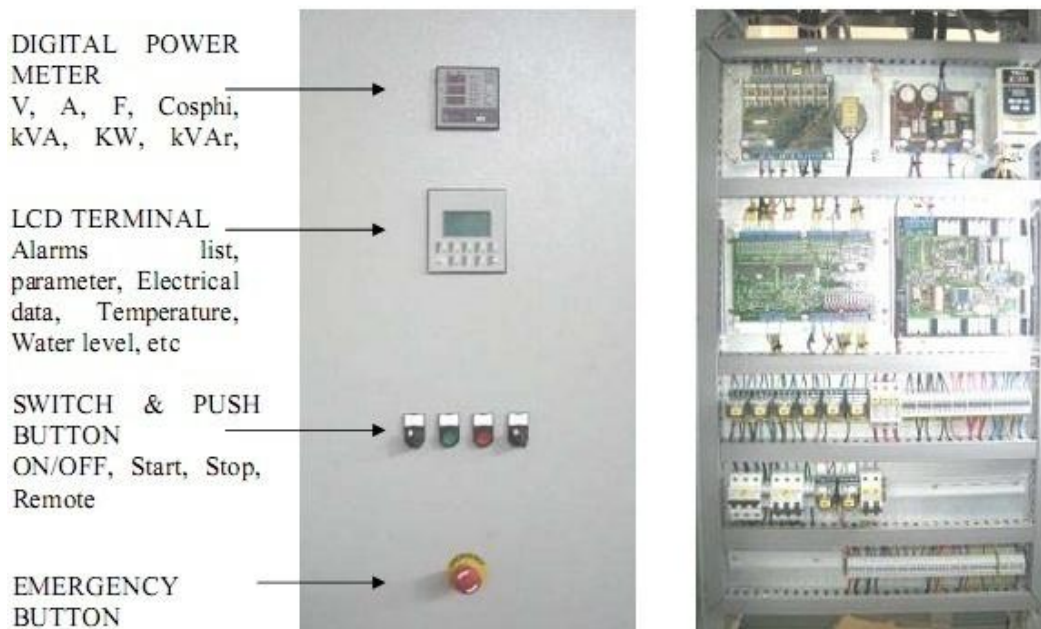
Spesifikasi Teknis Sistem Pengendalian.

1. Jenis : Digital Flow Control (DFC)
2. Kapasitas Rating: 100kW - 10MW.
3. Metode Control: otomatis kontrol untuk mengantisipasi perubahan beban dengan set alirandan *fly-wheel* untuk menjaga stabilitas frekuensi.
4. Perlindungan standar Generator : tegangan lebih/kurang , frekuensi lebih/kurang, arus lebih, hubung singkat , ketidakseimbangan arus , bantalan suhu tinggi , stator suhu tinggi dan mati sendiri pada saat kecepatan lebih.
5. Perlindungan Grid Standar : Over / bawah Voltage , Over / bawah frequencys , ketidakseimbangan, pergeseran vektor. Standar meter: Tegangan 3 Phase, ampere 3 Phase, frekuensi , kVAr , kVA , kW , kWh, jam operasional , kecepatan , *guide vane position*, permukaan air , alarm.
6. Mode Pengaturan : Kecepatan , Frekuensi , *Power*, *Water Level*. Antarmuka AVR : kontrol Tegangan , kontrol Cosphi, daya reaktif. Master kendali terdiri dari :

*Central Processing Unit (CPU) , Modul Power Filter, HMI , Switches , DC Power Supply . Semua sistem didasarkan pada mikroprosesor , semua *setting parameter* , dan program disimpan pada memori flash IC . Pengaturan tidak akan pernah berubah . Walaupun master kontrol berdasarkan sistem digital tetapi bisa berdiri di atas lonjakan karena dilengkapi dengan filter dan surge arrester .*



Gambar 6. 16 Master Kontrol



Gambar 6. 17 Panel Master Kontrol

Actuator Turbin

Katup dan *guide vane* digerakkan oleh hidrolik . Kedua katup dan guide vane yang digerakan dari satu unit pompa hidrolik yang digerakkan oleh motor listrik , sehingga tidak membutuhkan adanya koneksi putaran turbin. Butterfly valve atau guideVane Actuator yang dilengkapi dengan counter weight itu memungkinkan menutup katup dikondisi darurat .



Butterfly Valve Actuator



Turbine Actuator for T-14



Turbine Actuator for francis Turbine



Hydraulic Power Unit

Prinsip Kerja DFC

Sistem kontrol DFC adalah bekerja secara otomatis dari katup terbuka sampai proses loading(menjaga frekuensi terhadap kondisi beban). Catu daya awal dipasang

daribaterai. Untuk mengoperasikan *powerplant*, operator hanya perlu menekan tombol START. Secara otomatis kontroler akan membuka katup kupu-kupu sampai penuh pada posisi terbuka, selain membuka *guide vanes* sampai meningkatkan kecepatan turbin stabil di rpm nominal. AVR diaktifkan setelah turbin berputar stabil. Proses sinkronisasi akan dilakukan jika grid pada posisi normal. Ketika tegangan dan frekuensi sama dan sudut fase adalah nol, kontaktor akan diaktifkan. MHP akan mengontrol sesuai dengan mode aktif (frekuensi, listrik atau kontrol level air), demikian juga *exiter controller* (tegangan, cosphi atau kontrol daya reaktif).

Ketika grid pada kondisi non - tegangan (*black out*), kontaktor akan diaktifkan setelah konfirmasi oleh operator (alasan keamanan) dari *Powerplant* menerima beban pada grid dan bertepatan dengan kondisi frekuensi akan dipertahankan secara otomatis.

Operator hanya perlu untuk mendorong tombol STOP untuk mematikan *Powerplant*, *Powerplant* secara otomatis perlahan-lahan menutup. Ketika listrik posisi menyala "off", kontaktor akan dirilis dan turbin ditutup sampai posisi mendekati tertutup. Bila ada gangguan yang tidak bisa ditangani operator, ia hanya perlu untuk mendorong Tombol DARURAT sehingga katup dan guide vane akan ditutup secara otomatis, kontaktor akan dirilis begitu eksitasi tersebut. Dalam kondisi darurat, katup *Butterfly* dan turbin *guide vane* akan menutup secara otomatis meskipun tidak ada aliran listrik.

DFC juga dilengkapi dengan alarm dan peringatan, itu berguna untuk membantu operator untuk mendeteksi dan menangani gangguan atau kerusakan. Dalam kondisi peringatan (alarm tingkat 1) *Powerplant* masih berjalan. Alarm tingkat 2, *Powerplant* akan berhenti perlahan, alarm tingkat 3, *Powerplant* akan berhenti dengan cepat dan alarm tingkat 4, *Powerplant* pada kondisi darurat.



MHP Cikahuripan – Dewata – Ciwidey 2x125kW, Th 2001



MHP Cibuni-5 – Ciwidey – PT Melania, 200kW Th 2006

Synchronizer SR-3

Deskripsi

SR-3 adalah tipe pengatur Interkoneksi, perlindungan dan pemantauan daya minihidro. Dimana sistem MHP Load Control (DLC) saling berhubungan dengan jaringan, MHP, diesel, dan daya lainnya. SR-3 adalah kombinasi dari kontrolBeban Elektronik (DLC) dan SR-3 (sinkronisasi). SR-3 dan pengatur perlindungan dan sistem berbasis digital dengan otomatisasi tinggi. Dapat memantau dan mengontrol generator cepat dan akurat. Parameter tidak akan pernah berubah, jadi tidak perlukembali menyesuaikan. SR-3 dapat diterapkan untuk berbagai jenis turbin (Propeller, Francis, Cross-Flow, Turgo, Pelton).

Prinsip kerja :

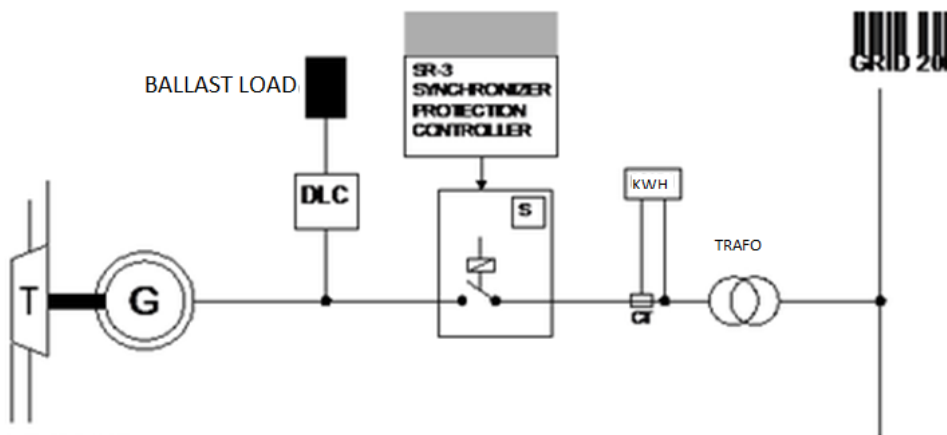
Pada dasarnya alat sinkronisasi ini adalah membandingkan besarnya frekuensi dan sudut phase dari kedua *Powerplant* atau dengan grid nasional. Pada saat frekuensi dan sudut phase sama maka alat ini akan bekerja menghubungkan antar grid tersebut.

Spesifikasi Teknis Fully Automatic Synchronizing:

<i>Controllings</i>	:	<i>Frequency, Voltage & Synchronizing, Cosphi Control</i>
<i>Generator Protection</i>	:	<i>over/under voltage, over/under frequencys, reverse power, over current and short circuit</i>
<i>Grid/Mains Protection</i>	:	<i>over/under voltage, over/under frequencys, phase shift, rate of change of frequencys.</i>
<i>Phase</i>	:	<i>3 Phase / 1 Phase</i>
<i>Voltage</i>	:	<i>230/400 Volt / 277/480V</i>
<i>Nominal Frequency</i>	:	<i>50 Hertz / 60 Hertz</i>
<i>Capacity</i>	:	<i>1kW – 5MW</i>



Gambar 6. 18 Alat Sinkronisasi



Gambar 6. 19 Diagram Sinkronisasi

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Instalasi rangkaian kontrol PLTMh? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan LK-6.0.Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1

1. Perhatikanlah panel rangkaian DLC/DFC pada laboratorium sekolah Anda. Jika tidak tersedia anda dapat pergi ke salah satu PLTMh terdekat.

Tugas Anda adalah menggambar diagram pengkabelan yang digunakan pada panel DLC tersebut.

E. Rangkuman

DLC berfungsi sebagai pengatur speed turbin (governor) untuk sistem pembangkit dengan generator sinkron. Sedangkan IGC berfungsi sebagai pengatur tegangan (AVR) untuk sistem pembangkit dengan generator asinkron (IMAG). Dengan cara menyeimbangkan antara daya turbin (input power) dengan daya generator (output power). dengan cara mengatur besar kecilnya daya yang dibuang ke *ballast load*. ELC/IGC ini merupakan generasi baru dimana sistem controlnya berbasis *Microprocessor/microcontroller*, dimana dapat mengontrol pembangkit dengan ketelitian yang tinggi.

Pada prinsipnya pengontrolan dengan DLC bertujuan agar daya yang dibangkitkan oleh Generator sinkron selalu sama besar dengan daya yang diserap sehingga dapat dibangkitkan tegangan dan frekuensi yang stabil dengan cara membuang kelebihan daya yang tidak digunakan oleh konsumen ke *ballast load*. *Ballast load* adalah bagian dari DLC, tidak untuk keperluan konsumen, *ballast load* merupakan beban resistif. Prinsip kerja dari DLC secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut.

Apabila daya yang diserap oleh konsumen berubah akan terdeteksi oleh DLC dan dengan segera merubah daya yang masuk ke *ballast load*. Sistem *ballast load* DLC pada masing-masing phase terdapat dua step *ballast*. *Ballast 1* akan terisi terlebih dahulu kemudian setelah *ballast 1* penuh maka *ballast 2* yang akan diisi. Begitu juga sebaliknya apabila konsumen membutuhkan daya maka *ballast 2* dulu yang akan dikurangi, setelah *ballast 2* kosong maka *ballast 1* yang akan dikurangi lagi.

Digital Flow Controller (DFC) adalah generasi baru dari kontroler Mikrohidro . DFC digunakan untuk pengaturan, perlindungan dan pemantauan *Powerplant*. DFC adalah sistem otomatis tingkat tinggi dan juga memberikan sistem operasi yang aman. Dilengkapi dengan sinkronisasi otomatis, dan perlindungan standar yang baik, dan DFC dapat terhubung ke web langsung melalui *data logger*.

Berbeda dengan sistem konvensional yang diterapkan dari beberapa komponen seperti perlindungan relay , sinkronisasi , kontrol, signal converter , penyimpan data dan memantau , kinerja dari generasi DFC dirancang lebih kompak , dan juga komponen dapat diganti jika ada *faillure* atau kerusakan.

Sistem kontrol DFC adalah bekerja secara otomatis dari katup terbuka sampai Proses *loading* (menjaga frekuensi terhadap kondisi beban) . catu daya awal dipasok dari baterai . Untuk mengoperasikan *powerplant* , operator hanya perlu menekan tombol START . secara otomatis kontroler akan membuka katup kupu-kupu sampai penuh pada posisi terbuka , selain membukakan *guide vanes* sampai meningkatkan kecepatan turbin stabil di rpm nominal. AVR diaktifkan setelah turbin berputar stabil. Proses sinkronisasi akan dilakukan jika grid pada posisi normal. Ketika tegangan dan frekuensi sama dan sudut fase adalah nol , kontaktor akan diaktifkan. MHP akan mengontrol sesuai dengan mode aktif (frekuensi, listrik atau kontrol level air), demikian juga *exciter controller* (tegangan, cosphi atau kontrol daya reaktif). Ketika grid pada kondisi non - tegangan (*black out*) , kontaktor akan diaktifkan setelah konfirmasi oleh operator (alasan keamanan) dari *Powerplant* menerima beban pada grid dan bertepatan dengan kondisi frekuensi akan dipertahankan secara otomatis.

F. Test Formatif

1. Jelaskan prinsip kerja DLC.
2. Jelaskan prinsip kerja DFC.
3. Apa perbedaan antara DLC dengan IGC?
4. Gambarkan diagram pengkabelan panel kontrol DLC pada PLTMh!
5. Gambarkan diagram pengkabelan panel kontrol DFC pada PLTMh!
6. Gambarkan diagram pemasangan Modul *synchronizer*!
7. Gambarkan diagram pengkabelan kontrol PLTMh secara berdiri sendiri (*stand alone*)!
8. Gambarkan diagram pengkabelan kontrol PLTMh terhubung ke jaringan PLN.

Lembar Kerja Peserta Didik

LK-6.0

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Instalasi Rangkaian Kontrol Pada PLTMh? Sebutkan!

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

6. Apa bukti yang harus diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Pemasangan dan Pengujian rangkaian Kontrol DLC

Peralatan :

1. Rangkaian DLC
2. KIT Rangkaian Panel DLC (kontaktor, SCR, frekuensi meter, tombol, lampu indikator, ampere meter, trafo arus, generator, motor listrik, inverter, dll)

Langkah Kerja :

1. Rakitlah panel kontrol DLC tersebut sebagai referensi gunakan Gambar 6.4 dan 5.5.
2. Sambungkan panel, generator, beban *ballast* dan beban utama dengan lampu.
3. Beban ballast dan beban utama terdiri dari 10 lampu masing-masing 100W dan setiap lampu memiliki saklar masing-masing.
4. Matikan semua beban utama dan nyalakan semua beban ballast.
5. Jalankan motor yang dalam hal ini berfungsi sebagai pengganti turbin !

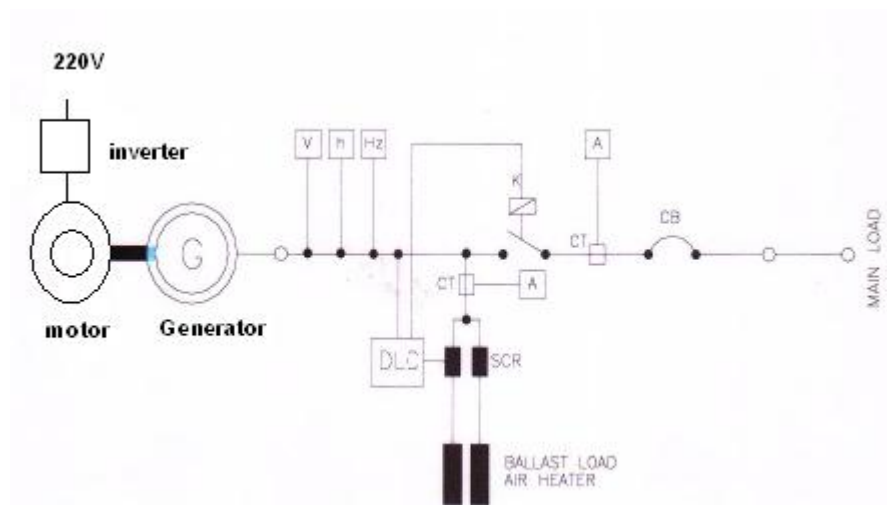


Diagram pengujian Hasil Perakitan Panel DLC

6. Atur dan naikan frekuensi inverter secara perlahan-lahan sehingga lampu indikator LED pada rangkaian DLC menyala.
7. Naikan lagi frekuensi inverter sampai diperoleh tegangan 230 Volt dan 50Hz, sehingga semua lampu pada ballast load menyala sempurna
8. Isilah Tabel Berikut ini

No	Tegangan	Frekuensi	Jumlah Lampu menyala pada beban utama	Ket
1			1	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	

8			8	
9			9	
10			10	

BAB III

PENUTUP

Modul ini menggunakan sistem pelatihan berdasarkan pendekatan kompetensi, yakni salah satu cara untuk menyampaikan atau mengajarkan pengetahuan ketrampilan dan sikap kerja yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan. Penekan utamanya adalah tentang apa yang dapat dilakukan seseorang setelah mengikuti pelatihan.

Salah satu karakteristik yang paling penting dari pelatihan berdasarkan kompetensi adalah penguasaan individu baik pengetahuan dan keterampilan.

Dalam Sistem Pelatihan Berbasis Kompetensi berdasarkan pemetaan kompetensi pada SKG (Standar Kompetensi Guru), fokusnya tertuju kepada pencapaian kompetensi dan bukan pada pencapaian atau pemenuhan waktu tertentu. Dengan demikian maka dimungkinkan setiap peserta pelatihan memerlukan atau menghabiskan waktu yang berbeda-beda dalam mencapai suatu kompetensi tertentu.

Jika peserta belum mencapai kompetensi pada usaha atau kesempatan pertama, maka pelatih atau pembimbing akan mengatur rencana pelatihan dengan peserta. Rencana ini memberikan kesempatan kembali kepada peserta untuk meningkatkan level kompetensinya sesuai dengan level yang diperlukan. Jumlah usaha atau kesempatan yang disarankan adalah tiga kali.

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan peserta dalam mengikuti modul ini, setiap peserta dievaluasi baik terhadap aspek pengetahuan maupun keterampilan. Aspek pengetahuan dilakukan melalui latihan-latihan dan tes tertulis, sedang aspek keterampilan dilakukan melalui tugas praktek.

UJI KOMPETENSI

1. Penilaian Ranah Sikap (Kepribadian)

a. Instrumen dan Rubrik Penilaian

No	Nama Peserta	Disiplin				Jujur				Tanggung Jawab				Santun				Nilai Akhir
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1.																		
2.																		
3.																		
n																		

b. Rubrik Penilaian

Peserta didik memperoleh skor:

4 = jika empat indikator terlihat

3 = jika tiga indikator terlihat

2 = jika dua indikator terlihat

1 = jika satu indikator terlihat

Indikator Penilaian Sikap:

Disiplin

- 1) Tertib mengikuti instruksi
- 2) Mengerjakan tugas tepat waktu
- 3) Tidak melakukan kegiatan yang tidakdiminta
- 4) Tidak membuat kondisi kelas menjadi tidak kondusif

Jujur

- 1) Menyampaikan sesuatu berdasarkan keadaan yang sebenarnya
- 2) Tidak menutupi kesalahan yang terjadi
- 3) Tidak menyontek atau melihat data/pekerjaan orang lain
- 4) Mencantumkan sumber belajar dari yang dikutip/dipelajari

TanggungJawab

- a) Pelaksanaan tugas piket secara teratur
- b) Peranserta aktif dalam kegiatan diskusi kelompok
- c) Mengajukan usul pemecahan masalah
- d) Mengerjakan tugas sesuai yang ditugaskan

Santun

- a) Berinteraksi dengan teman secara ramah
- b) Berkomunikasi dengan bahasa yang tidak menyinggung perasaan
- c) Menggunakan bahasa tubuh yang bersahabat
- d) Berperilaku sopan

Nilai akhir sikap diperoleh berdasarkan modus (skor yang sering muncul) dari keempat aspek sikap di atas.

Kategori nilai sikap:

- | | |
|-------------|------------------------------------|
| Sangat baik | : apabila memperoleh nilai akhir 4 |
| Baik | : apabila memperoleh nilai akhir 3 |
| Cukup | : apabila memperoleh nilai akhir 2 |
| Kurang | : apabila memperoleh nilai akhir 1 |

Penilaian Ranah Pengetahuan

1. Sebutkan Metoda-motoda system kontrol pada PLTMH
2. Jelaskan Prinsip kerja DLC
3. Jelaskan Perbedaan ELC dengan DLC
4. Apa yang dimaksud dengan Sistem Kontrol PID
5. Apa perbedaan IGC dengan ELC/DLC

a. Instrumen dan Rubrik Penilaian

No.	Nama Peserta	Skor setiap nomor soal					Nilai
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							

Perolehan skor peserta didik untuk setiap nomor soal, sebagai berikut:

Indikator penilaian pengetahuan

- a. Cara kerja komponen aktif ((diode, zener, transistor bipolar, FET, MOSFET dan Op-Amp)
 1. Jika jawaban meliputi 4 opsi dengan benar skor 4
 2. Jika jawaban meliputi 3 opsi dengan benar skor 3
 3. Jika jawaban hanya meliputi 2 opsi dengan benar skor 2
 4. Jika hanya menjawab 1 opsi dengan benar skor1

- b. Peserta dapat merinci konfigurasi transistor bipolar
 1. Jika jawaban meliputi 4 opsi dengan benar skor 4
 2. Jika jawaban meliputi 3 opsi dengan benar skor 3
 3. Jika jawaban hanya meliputi 2 opsi dengan benar skor 2
 4. Jika hanya menjawab 1 opsi dengan benar skor1

- c. Peserta dapat menghitung tegangan DC dari rangkaian penyearah
 1. Jika jawaban meliputi 4 opsi dengan benar skor 4
 2. Jika jawaban meliputi 3 opsi dengan benar skor 3
 3. Jika jawaban hanya meliputi 2 opsi dengan benar skor 2
 4. Jika hanya menjawab 1 opsi dengan benar skor1

- d. Peserta dapat menentukan fungsi regulator arus dan tegangan
 1. Jika jawaban meliputi 4 opsi dengan benar skor 4
 2. Jika jawaban meliputi 3 opsi dengan benar skor 3
 3. Jika jawaban hanya meliputi 2 opsi dengan benar skor 2
 4. Jika hanya menjawab 1 opsi dengan benar skor1

Rumus pengolahan Nilai adalah $Nilai = \frac{Jumlah\ skor\ yang\ diperoleh}{20} \times 4 = \underline{\hspace{2cm}}$

Penilaian Ranah Keterampilan

Produk Benda Kerja Sesuai Kriteria

1. Desainlah modul ELC dengan mikrokontroler dan Elektronika !
2. Desainlah layout panel kontrol untuk PLTMh!

Batasan waktu yang telah ditetapkan

Waktu pembuatan desain modul dan layout selama 1 bulan

Instrumen dan Rubrik Penilaian Keterampilan

No	Nama Siswa/Kelompok	Desain Modul ELC				Desain Layout Panel ELC				Nilai
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1.										
2.										
3.										

Rubrik Penilaian:

Peserta didik mendapat skor:

- 4 = jika empat indikator dilakukan.
 3 = jika tiga indikator dilakukan.
 2 = jika dua indikator dilakukan.
 1 = jika satu indikator dilakukan.

Indikator penilaian keterampilan

- a) Merancang Rangkaian Komponen Aktif.
 Memilih komponen sesuai fungsi dan karakteristiknya

Menggambar rangkaian menggunakan standar symbol yang berlaku
 Menghitung dan menganalisis besaran kelistrikan
 Memilih konfigurasi rangkaian sehingga rangkaian efektif dan efisien.

b) Membangun Rangkaian Komponen Aktif.

Pemilihan alat dan bahan sesuai LK.

Pemasangan komponen sesuai layout yang telah dibuat.

Perakitan dilakukan dengan rapih dan kokoh.

Selama bekerja selalu menerapkan K3.

Pengolahan Nilai KD- Keterampilan

Aspek/Indikator	Tes ke	Skor	Keterangan
Merancang Rangkaian Komponen Aktif	1	2	belum tuntas
	2	4	tuntas
Membangun Rangkaian Komponen Aktif	1	3	tuntas
	2		
Nilai KD – Keterampilan ditentukan berdasarkan skor rata optimum (nilai tertinggi) dari aspek (Indikator pencapaian kompetensi) yang dinilai		$(4+3)/2=3,5$	B+

DAFTAR PUSTAKA

- Aji Subekti, **Digital Load Controller for Synchronous Generator: Manual Instruction**, Bandung, 2010
- D. Henderson, **An Advanced Electronic Load Governor for Control of Micro Hydroelectric Generation**, 1998
- Fritz, J. Jack, **Small and Mini Hydropower Sistem**, McGraw-Hill, New York, 1984.
- Hardiansyah dkk, **Pengendalian Beban Generator Secara Otomatis Dengan Algoritma PID Pada Pltmh Berbasis PLC**, Jurnal Teknologi, Volume 5 Nomor 2, Desember 2012
- Iwan Setiawan, **Kontrol PID untuk Proses Industri**, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008
- J. Portegijs, **The 'Humming Bird' Electronic Load Controller / Induction Generator Controller**, 2000
- Katsuhiko Ogata, **Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)**, Erlangga, Jakarta 1993
- Lingga W, **Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535**, Andi, Yogyakarta, 2006
- Malvino, Paul Albert, **Prinsip-prinsip Elektronika**, Erlangga, Jakarta, 1996.
- Mbabazi, Shoan, Leari, **Analysis and Design of Electronic Load controllers,for Micro-hydro Systems in the Developing World**, University of Sheffield, E-Futures (March 2010)
-, **Micro Hydropower Sistem : A buyer's Guide**, Natural Resources Canada Renewable and Electrical Energy Division
- Ogata, Katsuhiko, **Modern control Engineering. Third Edition**. Prentice Hall, New Jersey

Pankaj kapoor, Lobzang Phunchok and Sunandan Kumar, **Frequency Control Of Micro Hydro Power Plant Using Electronic Load Controller**

Renerconsys, **Digital Flow Controller of Micro Hydroelectric.**

Tim RET-MHP TEDC, **Desain Sistem Kelistrikan**, Modul, PPPPTK BMTI, 2007

....., **AVR211 Discreet PID Control**, Application Note ATMEL Microcontroller, 2006

<http://www.nooutoge.com>

<http://www.mcselec.com>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Listing Program Untuk PID Diskrit

```
'=====
'program DLC/automatic Load Control
'oleh Senja
'Versi :0.1
'Tanggal:3-3-2011
'=====

$regfile = "m16def.dat"          'cip IC yang digunakan
$crystal = 16000000              ' kecepatan Kristal yang digunakan
$baud = 9600                     ' seting kecepatan komunikasi serial ke computer
'=====

'Deklarasi sub program
'=====

Declare Sub Proses_pid(byval Pid_setpoint As Integer , Byval Pid_aktual As Integer)
Declare Sub Konfig_pid(byval Scr_skala As Byte , Byval Scr_kp As Byte , Byval Scr_ki As Byte ,
Byval Scr_kd As Byte)
Declare Sub Solut_scr()
Declare Sub Tindakan()
Declare Sub Evaluasi()
'=====

'Port yang digunakan sebagai input
'setting Dip SWITH
'Portc =AL
'Porta<4:7>=AL
'Porta.0=adc inp
'Portc<1:2> =ext analog reserve
'portd.3 =int1 for frequency sensor
```

```

'port yang digunakan sebagai output
'portd.7 =led red   AH (aktifhigh)
'portd.6 =led yellow  AH
'portd.5 =led green   AH
'portd.4 =relay no    AH
'portb.5 =out1 AL
'Portb.7 =out2 AL

'=====

'configurasi I/O
'=====

Config Porta = Input
Config Portc = Input
Config Portb = Output
Config Timer1 = Timer , Prescale = 8           'config timer1 for data trap timer
Stop Timer1
Config Int1 = Falling                          'configure int1 on falling edge
'Config Adc = Single , Prescaler = Auto
'Start Adc
'With STOP ADC, you can remove the power from the chip
'Stop Adc
Config Portd.7 = Output
Config Portd.6 = Output
Config Portd.5 = Output
Config Portd.4 = Output
Config Portd.3 = Input
Set Portd.0.3                                'pullup pind.3
Portb = $b00000000
'penamaan I/O
'configure the int pin , i used int1 pin           'set the pull up resistor
'alias for easy naming

```


Led_r Alias Portd.7

Led_y Alias Portd.6

Led_g Alias Portd.5

Relay Alias Portd.4

Out1 Alias Portb.5

Out2 Alias Portb.7

Pin_pulsa Alias Pind.3

Pin_adc Alias Pina.0

Portc = 255

Porta = 255

'=====

'definisi variabel

'=====

'the isr label

Dim Konstanta As Long

Dim Frekuensi As Single

Dim W As Word , Variabel As Integer , Error1 As Byte

Dim Error As Byte

Dim Langkah As Byte , Tim1 As Byte

Dim Pid_kp As Byte , Pid_ki As Byte , Pid_kd As Byte

Dim Scr_kp As Byte , Scr_ki As Byte , Scr_kd As Byte , Scr_skala As Byte

Dim Perioda_aktual As Integer , Perioda_setpoint As Integer

Dim Pid_aktual As Integer , Pid_setpoint As Integer

Dim Pid_error As Integer , Pid_error_old As Integer

Dim Diff_error As Integer , Integral_error As Integer

Dim Pid_out As Integer , Ptemp As Integer , Pid_skala As Integer

Dim Perioda_max As Integer , Perioda_min As Integer

Dim Waktu_sulut As Integer

Dim Tunda As Integer

Dim I As Integer

```

Konstanta = 1000000
Set Relay
Perioda_setpoint = 20516 '→ hasil perhitungan 20000
Perioda_max = 21333
Perioda_min = 19730
Dim Waktu_sulut_max As Integer
Waktu_sulut_max = 3500
Langkah = 0 '31250
Enable Interrupts 'enable global interrupt
Enable Int1
Enable Timer1 'interrupt enable
On Int1 Isr_int1
'Define the ISR handler
On Ovfl Tim1_isr
'the following code is executed when the timer rolls over
'=====
'perioda set point untuk 50Hz adalah hasil perhitungan =20000
'Kenyataan hasil pengukuran 20416
'Perioda untuk 60Hz berdasarkan hasil perhitungaannya =16667
'Kemungkinan hasil pengukuran =16960
'=====
Do
'Konstanta proporsional
If Pinc.0 = 0 And Pinc.1 = 0 Then
Scr_kp = 0
End If
If Pinc.0 = 0 And Pinc.1 = 1 Then
Scr_kp = 2
End If
If Pinc.0 = 1 And Pinc.1 = 0 Then

```

```

Scr_kp = 4
End If
If Pinc.0 = 1 And Pinc.1 = 1 Then
Scr_kp = 8
End If
'Konstanta Integrator
If Pinc.2 = 0 And Pinc.3 = 0 Then
Scr_ki = 0
End If
If Pinc.2 = 0 And Pinc.3 = 1 Then
Scr_ki = 1
End If
If Pinc.2 = 1 And Pinc.3 = 0 Then
Scr_ki = 2
End If
If Pinc.2 = 1 And Pinc.3 = 1 Then
Scr_ki = 3
End If
'Konstanta derivatif

If Pinc.4 = 0 And Pinc.5 = 0 Then
Scr_kd = 0
End If
If Pinc.4 = 0 And Pinc.5 = 1 Then
Scr_kd = 2
End If
If Pinc.4 = 1 And Pinc.5 = 0 Then
Scr_kd = 4
End If
If Pinc.4 = 1 And Pinc.5 = 1 Then

```

Scr_kd = 8

End If

If Pinc.6 = 0 And Pinc.7 = 0 Then

Scr_skala = 1

End If

If Pinc.6 = 0 And Pinc.7 = 1 Then

Scr_skala = 2

End If

If Pinc.6 = 1 And Pinc.7 = 0 Then

Scr_skala = 3

End If

If Pinc.6 = 1 And Pinc.7 = 1 Then

Scr_skala = 4

End If

If Pina.6 = 0 And Pina.7 = 0 Then

Perioda_setpoint = 21150

End If

If Pina.6 = 0 And Pina.7 = 1 Then

Perioda_setpoint = 21200

End If

If Pina.6 = 1 And Pina.7 = 0 Then

Perioda_setpoint = 21250

End If

If Pina.6 = 1 And Pina.7 = 1 Then

Perioda_setpoint = 21300

End If

Call Konfig_pid(scr_skala , Scr_kp , Scr_ki , Scr_kd)

```

'Input "A>" , Perioda_aktual
Loop
'=====
'PROGRAM UTAMA
'Proses Evaluasi dilakukan
'Ukur frekuensi dengan menghasilkan perioda aktual
'pengukuran dengan akurasi 0.5uS . mengukur setengah gelombang. untuk 50Hz
=10ms=10000uS.
'diperoleh angka 10000/0.5 =20000 -->20416 hasil kalibrasi
'=====
Isr_int1:
If Langkah = 0 Then                                '1x ngukur dan 4X tindakan
    Call Evaluasi
Else
    Call Tindakan
    'Call Sulut_scr()                                'untuk perioda negatif
    Bitwait Pin_pulsa , Set
End If
    Langkah = Langkah + 1
If Langkah >= 10 Then
    Langkah = 0
End If
    Call Tindakan                                'untuk perioda positif aja
    'Call Sulut_scr()
Return

'('=====
Tindakan dilakukan berdasarkan PID dan batas proteksi
Jika Dibawah 48hz Led Kuning On
Jika Diatas 52 Led Merah Menyala

```

Jika Kondisi Ini Lebih Dari 2 S Relay Melepas Daya

Jika Antara 48 -52 Operasi Normal , Led Hijau On Dan Proses Pid Bekerja

F48 = 21250 ; F50 = 20416 ; F52 = 19646

```
=====
')
Sub Tindakan()
'jika Perioda_aktual lebih besar dari Perioda_max maka  $f \leq 48$  Hz lampu padam total
'Jika perioda_aktual lebih kecil dari perioda min maka  $f \geq 52$  Hz Lampu nyala terang
'selain itu operasi normal sesuai PID
If Perioda_aktual > Perioda_max Then
    Tim1 = Tim1 + 1
    Reset Led_g
    Set Led_y
    Reset Led_r
    Set Out1
    Set Out2
End If
If Perioda_aktual < Perioda_min Then
    Tim1 = Tim1 + 1
    Reset Led_g
    Reset Led_y
    Set Led_r
    Reset Out1
    Reset Out2
End If
If Perioda_aktual <= Perioda_max And Perioda_aktual >= Perioda_min Then
    Tim1 = 0
    'kondisi normal
    Set Relay
    Set Led_g
    Reset Led_y
```

```

Reset Led_r
Call Proses_pid(perioda_setpoint , Perioda_aktual)
Waktu_sulut = Pid_out
If Waktu_sulut = 0 Then
Set Out1
Set Out2
Else
Call Sulut_scr()
End If
End If

If Tim1 = 10 Then                                     'jika selama 2 detik diluar range relay lepas
Reset Relay
Tim1 = 0
End If

End Sub

'=====
'mengukur kembali frekuensi, dalam hal ini perioda aktual sistem
'=====

Sub Evaluasi()
Timer1 = 0
Start Timer1
Call Sulut_scr()
Bitwait Pin_pulsa , Set
Stop Timer1
'Print Timer1
Perioda_aktual = Timer1
End Sub

'=====

```

Sub Program Ini Menentukan Pid_out Dari Error Dan Jumlah Error Dan Selisih Error

```
=====
')
Sub Proses_pid(pid_setpoint , Pid_aktual)
    Pid_error = Pid_setpoint - Pid_aktual      'fhigh=error+
    Pid_out = Pid_error * Pid_kp
    Ptemp = Pid_error - Pid_error_old          'derivatif
    Pid_error_old = Pid_error
    Ptemp = Ptemp * Pid_kd
    Pid_out = Pid_out + Ptemp
    Ptemp = Integral_error * Pid_ki            'integrator
    Pid_out = Pid_out + Ptemp
    Pid_out = Pid_out * Pid_skala
    If Pid_out > 3500 Then
        Pid_out = 3500
    ElseIf Pid_out < 0 Then
        Pid_out = 0
    Else
        Pid_error = Pid_error + Integral_error
        If Pid_error > 770 Then
            Pid_error = 770
        ElseIf Pid_error < -833 Then
            Pid_error = -833
        End If
        Integral_error = Pid_error
    End If

End Sub

'-----
'----- Konfigurasi pid -----
```



```

'-----
Sub Konfig_pid(scr_skala , Scr_kp , Scr_ki , Scr_kd)
    Pid_kp = Scr_kp
    Pid_ki = Scr_ki
    Pid_kd = Scr_kd
    Pid_skala = Scr_skala
End Sub

'=====

'sub program untuk penyalan scr/triaac dengan memberikan pulsa low 100uS
'=====

'maksimal waktu sulut(52Hz) =9615us-300-200-100-100=8900/2  =3500
Sub Sulut_scr()                                '0-3500=padam-nyala
Waitus 300
Tunda = 3500 - Waktu_sulut

For I = 0 To Tunda                                'max3500
$asm
nop
$end Asm
Next I
Reset Portb.5
Reset Portb.7
Waitus 100
Set Portb.5
Set Portb.7

End Sub

'=====

'pada f rendah ada kemungkinan timer overflow

```

'=====

Tim1_isr:

Stop Timer1

Return

Lampiran 2

Kode Program Untuk DLC Bobot Biner

```
;=====
;== Full cycle multichannel ELC and heater controller ==
;== by Manfred Mornhinweg, october 2008, may 2009 ==
;=====

;50Hz AC sample (one volt is OK) connected between RA1 and RA2.

;PortB 0..3, priority 0..3. PortB 5..7 and PortA.0, all priority 4.

'===== User constants=====
Period Con 20000 ; Timer Cycles Per Ac Cycle. 20000us On 4mhz Clock
Pgain Con 8 ; Proportional Gain , From Counts Error To 15bit Variable
Idiv Con 1 ; Integral Division Ratio , 1 / Gain
'=====
'===== Pin definitions =====
Acin Var Cmcon.7
Led Var Porta.3 ; Pin 2 For Lock Led

'===== variables =====
Acstat Var Bit
Pvalue Var Word
Ivalue Var Word
Pvalue Var Word
Timcount Var Word
Perioderror Var Word
Loadn Var Word
Fracacc Var Word
Debint Var Byte ; Debug Interval Counter
```

Whichtriac Var Byte ; Next Bit To Be Set In Triacs Register

Triacs Var Byte ; Shadow For Port Register

Istate Var Word

Ichange Var Word

Cmcon = 5 ; Enable Comparator 2

Trisb = 0 ; Set Port B To Output. Bit 4 Will Not Work , Prog!

Trisa.0 = 0 ; Set Pin 17 To Output , To Use Instead Of Portb.4

Trisa.3 = 0 ; Set Pin 2 To Output , For Lock Led

Whichtriac = 16 ; Initialize

```
Mainloop : If Acin <> Acstat Then           'every half cycle
Portb = Triacs                             'put out info of previous measurement.
Porta.0 = Triacs.4
Pauseus 1000                               '1ms pulse for triggering TRIACs
Portb = 0
Porta.0 = 0
Toggle Acstat                             'toggle, not =ACin, to prevent noise problems!

If Acstat = 0 Then                          'at 1ms after beginning of full cycle
T1con = 0                                  'stop timer
Timcount.highbyte = Tmr1h                  'read timer
Timcount.lowbyte = Tmr1l
Tmr1h = 0                                  'reset timer
Tmr1l = 18                                 'preload to compensate for processing time
T1con = 1                                  'restart timer
```

'===== PI function =====

```

Perioderror = Period - Timcount           'centered on zero

Ichange =(perioderror + 32768) / Idiv - 32768 / Idiv
Istate = Istate + Ichange
Istate = Istate Min 49151
Istate = Istate Max 16384

Timcount = Timcount Min(period + 16384 / Pgain)
Timcount = Timcount Max(period - 16384 / Pgain)

Pvalue =(period -timcount) * Pgain         'centered on zero, +/-16384 max

Pivalue = Istate + Pvalue                 'Spans 0 to 65535
Pivalue = Pivalue Max 16384              'cut down range
Pivalue = Pivalue Min 49151
Pivalue = Pivalue - 16384                'Range is now 0 to 32767

'=====

If Pivalue = 0 Or Pivalue = 32767 Then    'unlocked
    Led = 0
Else
    Led = 1                             'locked
End If

Loadn = Pivalue >> 12                    'Integer number of loads now ready, 0-7
Pivalue = Pivalue & %0000111111111111    'keep only fraction
Fracacc = Fracacc + Pivalue              'add fraction
If Fracacc.12 = 1 Then
    Loadn = Loadn + 1                   'switch on additional load if overflow
    Fracacc = Fracacc & %0000111111111111 'reset overflow, not really necessary!

```

```

End If

If Loadn = 0 Then Triacs = 0           'set priority channels
If Loadn = 1 Then Triacs = 1
If Loadn = 2 Then Triacs = 3
If Loadn = 3 Then Triacs = 7
If Loadn > 3 Then Triacs = 15
If Loadn > 4 Then                      'heaters
    Loadn = Loadn - 4

    Swtriacs : Triacs = Triacs | Whichtriac    'set bit
    Whichtriac = Whichtriac << 1
    If Whichtriac = 0 Then Whichtriac = 16      'convert shift into rotate through 4 MSBs!
    Loadn = Loadn - 1
    If Loadn > 0 Then Goto Swtriacs
End If
End If
End If
Goto Mainloop

```